Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
Совет молодых учёных и специалистов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

РГАУ-МСХА
имени К.А.Тимирязева

Всероссийская с международным участием научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 155-летию со дня рождения выдающегося учёного в области животноводства, академика ВАСХНИЛ Михаила Фёдоровича Иванова

Сборник статей. Том 1

Москва
2026

УДК 929.63
ББК 72.6:4
В 85

Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 155-летию со дня рождения выдающегося учёного в области животноводства, академика ВАСХНИЛ Михаила Фёдоровича Иванова, г. Москва, 27-29 апреля 2026 г.: сборник статей. Том 1 / Коллектив авторов [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (12,5 Мб). – Москва: Издательство РГАУ - МСХА, 2026. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). – Систем.требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024×768; AdobeAcrobat; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана.

Редакционная коллегия

Проректор по научной работе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, д.с-х.н., **С.С. Макаров.** Начальник управления научной и инновационной деятельности РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, доцент, к.п.н., **Л.В. Верзунова**. Председатель Совета молодых учёных и специалистов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, доцент кафедры частной зоотехнии, к.с.-х.н. **В.В. Малородов**. Заместитель председателя, руководитель СМУиС института экономики и управления АПК (по гуманитарному направлению) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, к.и.н. **С.А. Миронюк**. Ответственный секретарь, руководитель СМУиС института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова (по мелиоративному направлению) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **Т.Ю. Жукова**. Руководитель СМУиС института агробиотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, к.б.н. **Р.И. Тараканов**. Руководитель СМУиС института механики и энергетики имени В.П. Горячкина РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **Д.М. Дудин**. Руководитель СМУиС института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова (по экологическому направлению) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **Н.А. Александров**. Руководитель СМУиС института экономики и управления АПК (по экономическому направлению) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **В.С. Токарев**. Руководитель СМУиС института зоотехнии и биологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **Р.А. Иволга**. Руководитель СМУиС Технологического института РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **А.С. Куприй.**

Организаторы конференции: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Совет молодых учёных и специалистов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Сборник содержит статьи по материалам докладов участников **Всероссийской с международным участием научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 155-летию со дня рождения выдающегося учёного в области животноводства, академика ВАСХНИЛ Михаила Фёдоровича Иванова,** проводившейся 27-29 апреля 2026 г. на базе ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Издание представляет интерес для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, руководителей и специалистов АПК.

ISBN 978-5-9675-2161-4
© Коллектив авторов, 2026
© ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ ИМЕНИ В.П. ГОРЯЧКИНА 9

СЕКЦИЯ: «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В АПК» 9

Карлаков Д.С **ПРИМЕНЕНИЕ МОТОР-КОЛЁС В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ** 9

Борщев Г.В. **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМОРАЖИВАНИЯ ЛЬДА В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ** 11

Бычков С.А., Сухов С.С **ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА КРИТИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АПК** 14

Пискарева А.В. **ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНИРОВАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ САЛАТА В УСЛОВИЯХ СИТИ-ФЕРМ** 18

Лештаев О.В. **ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ** 20

Селезнева Д.М. **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**..... 22

Борзов С.С., Лавренова О.Е, Грызунов А.А., **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СУШКИ**..... 25

Шабаев Е.А., Беенов В.Н., Романовец М.М., Митяшова С.И.**УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ДИНАМИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПТИЧНИКА**..... 27

СЕКЦИЯ: «СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АПК» 30

Барчукова А.С. **КОРРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ**..... 30

Белоусов Д.В.,**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АЗОТИСТОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ НАГРЕВА БОРСОДЕРЖАЩЕЙ ПАСТЫ ПРИ УПРОЧНЕНИИ КУТТЕРНЫХ НОЖЕЙ** 32

Ветрова С.М. **КОРРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ**..... 36

Прокофьев М.М., **СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА** 38

Пикина А.М. **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕДЬ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ**..... 40

Серов Н.В, **ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН**..... 42

Логачев К.В., Казанцев С.П. **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОКРЫТИЙ** 45

Дудин Д.М., **ОЦЕНКА УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОПОДРЕССОРИВАНИЯ ТЯГОВОГО ГУСЕНИЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ ТРАКТОРА**..... 49

Дегтярев Н.И. **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛОЩАДИ ПЯТНА КОНТАКТА ТЯГОВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МОДУЛЕЙ** 52

ИНСТИТУТ МЕЛИОРАЦИИ, ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И СТРОИТЕЛЬСТВА ИМЕНИ А.Н. КОСТЯКОВА 54

СЕКЦИЯ МЕЛИОРАЦИЯ И РЕУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ 54

Лебедев Д.А **ТЕПЛООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ ТУННЕЛЬНЫХ УКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**..... 54

Калмыкова Е.С **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ МОЛОДОГО ВИШНЁВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ** 59

Попов И.Д., **СВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ С ВЛАЖНОСТЬЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ**..... 62

Адучиева М.Г **ВЗАИМОСВЯЗЬ СОРТОВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РИСА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛУПУСТЫННОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ** 64

Селиверстов А.М., **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ САЖЕНЦЕВ В ПЛОДОВЫХ ПИТОМНИКАХ**..... 68

Мутных Д.А., **НОРМИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ МОРКОВИ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ** 71

Попова Е.А., **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ НА ОСНОВЕ ВОДНО-БАЛАНСОВОГО ПОДХОДА**..... 73

Канадин О.В., **КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ САЖЕНЦЕВ ДЕКОРАТИВНОЙ ЯБЛОНИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**..... 75

Гжибовский С.А., **РОСТ И РАЗВИТИЕ ЧЕРЕШНИ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ ПОСАДКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА КОМБИНИРОВАННОГО ОРОШЕНИЯ**..... 78

Лебедев А.В **ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ И ЛОКАЛЬНЫЕ АДАПТАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**..... 82

Лексашов С.А. **ОСОБЕННОСТИ НИЖНИХ ЯРУСОВ БЕРЁЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ИСТРИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ** 85

Гостева Д.Ю. **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ТОЛЩИНЕ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ В ПОВРЕЖДЁННЫХ КОРОЕДОМ-ТИПОГРАФОМ ДРЕВОСТОЯХ ПОДМОСКОВЬЯ**..... 87

Двойченков К.И., Лебедев А.В. **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ВО ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ** 91

Танюкевич В.В **ВЕТРОВАЯ ТЕНЬ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС С УЧАСТИЕМ *Prunus armeniaca* L. (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)** 94

*Верещагина М.А., Лебедева А.В***АНАЛИЗ ХОДА РОСТА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО *(OUERCUS ROBUR) В* УСЛОВИЯХ СУХОЙ БАЙРАЧНОЙ ДУБРАВЫ СТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ (НА ПРИМЕРЕ КАШАРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)** 101

***Гостев В.В.*,РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ТАКСАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ И ЕЛИ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ** 105

***Чистюлин П.А., Хамитов Р.С., Мельник П.Г.* ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ: МЕТОДЫ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**..... 107

СЕКЦИЯ АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА И ВОДОИСПОЛЬЗОВАНИЯ 110

***Жукова Т.Ю., Еремеев А.В., Ханов Н.В* ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОЭФФИЦИЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ** 110

***Жукова Т.Ю.* РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯПУЛЬСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА** 113

***Силла А.*, ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ ПРИТОКОВ РЕКИ НИГЕР В ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ** 117

***Мякшин Н.А., Михеев П.*РЫБОЗАЩИТНАЯ КАССЕТА С ГИБКИМ ФИЛЬТРУЮЩИМ ЭКРАНОМ** 121

***Рузаков П.Д., Михеев П.А* АЭРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА** 124

***Алсаади М.* SENSITIVITY-AWARE DELINEATION OF LAKE BOUNDARIES USING DEM AND MNDWI** 128

***Беда Д.А.* БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В МОНИТОРИНГЕ ГРУНТОВЫХ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ ДАМБ** 129

***Блама Б., Глазунова И.В.* СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОТИВОРЕЧИЙ МЕЖДУ ИРРИГАЦИЕЙ, РЫБОЛОВСТВОМ И ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ОЗЕРА ЧАД**..... 133

***Бурлаченко Я.Ю., Ли Ц., Черных О.Н.* К РАСЧЁТУ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОДОБОЙНЫХ УСТРОЙСТВ ЗА МЕЛИОРАТИВНЫМИ ТРУБЧАТЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ**..... 135

***Валлик М.Я.* , ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ ДОЖДЕПРИЁМНЫХ РЕШЁТОК В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ** 138

***Ван Т., Черных О.Н* УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ВОДОСЛИВНОГО ПОРОГА НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ВОДОСБРОСОВ ТРАНШЕЙНОГО ТИПА**..... 141

***Винокурова И.Н.*, КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СТАНЦИЙ**..... 145

***Иванников М.К.*, РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗА РАДОНА В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**148

***Каракулов Ф.А., Ханов Н.В.* ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ПОЛОВОДНЫХ ВОД Р.ОКИ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ УЧАСТКАХ ДЕДИНОВСКОЙ ПОЙМЫ** 150

***Кун В., Черных О.Н* АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБЧАТЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ УРБОТЕРРИТОРИЙ**..... 153

Левин В.О. **ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН В ЧЕБУЛИНСКОМ МУНИЦИПАЛЬНОМ ОКРУГЕ: ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ** 157

Ло Л., У Ц. **ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ТАРГЕТИРОВАННОГО УДАЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ НОВЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ** 161

Лю Ц., Черных О.Н **ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА ГИДРОДИНАМИКУ РАБОТЫ ВОДОБОЙНОГО УЧАСТКА**..... 165

Медведева А.А **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**..... 168

Михеев С.А., **СИСТЕМА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ И АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ III И IV КЛАССОВ** 170

Мурадов А.Р **ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ** 173

Посадсков Ф.Е., Редников С.Н. **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МОНИТОРИНГЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНЫХ КАМЕР И ДРОНОВ**..... 177

Садова В.А **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КИТАЯ И РОССИИ**..... 182

Старовойтов А.Б., Фартукв В.А. **МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВОДОПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**..... 185

Плахтеев Д.Н **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ СПОСОБОМ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ**..... 188

Обухов В.А. **РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ОГОЛОВКА РУСЛОВОГО ВОДОЗАБОРА В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**..... 190

Ся В., Черных О.Н **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТРАНЗИТНОЙ ЧАСТИ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ЧЕШУЙЧАТОГО МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВОДОСБРОСА** 193

У Ц., Ло Л. **МЕХАНИЗМЫ МНОГОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ НЕКОНВЕНЦИОНАЛЬНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ВОДНО-ЭНЕРГЕТИКО-УГЛЕРОДНОГО НЕКСУСА: ОТ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА ДО ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА** 196

Фан Л. **ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУСЛОВЫХ ГИДРОТУРБИН В РЕГИОНАХ КИТАЯ** 199

Цуй Ц. **ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РИСКОВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГИДРОУЗЛОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ: КРИТЕРИИ АДАПТАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ** 203

Чемизов К.А. **МОДУЛЬНЫЕ АККУМУЛИРУЮЩИЕ РЕЗЕРВУАРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ**..... 207

Щукин С.С. **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ КОАГУЛЯЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**..... 210

Алексеев Д.А. **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МОДЕЛИ ВАКУУМНОГО ШАХТНОГО ВОДОСБРОСА РОГУНСКОЙ ГЭС**..... 213

СЕКЦИЯ АГРОЭКОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПРИРОДОИСПОЛЬЗОВАНИЯ 217

Аззус Х.Б. **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСА МУДЖЕБАРА (АЛЖИР) С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ МИССИИ GEDI и NDVI** 217

Авдеева А.В., Санчез А.Л.Э. **ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ДЕТРИТНО-ДЕСТРУКЦИОННОГО ЦИКЛА УГЛЕРОДА В ПЕРЕСТОЙНОМ СМЕШАННОМ ЛЕСУ** 220

Александров Н.А **ФАЗОВО-СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ** 224

Идриссу А.А., **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННЫХ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ CO_2 и CH_4 В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА (НА ПРИМЕРЕ ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА)** 227

Безруких А.И, Аспирантов И.И. **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**..... 231

Васенев П.И., Никитенко А.М **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ФОСФОГИПСА И КОМПОСТА НА УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС ПОЧВ В МОДЕЛЬНЫХ ГАЗОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ И МЕЖСЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЕГО КОМПОНЕНТОВ** 234

Васильков П.Ф, **ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОД ГИБРИДОМ КОМПЕТЕНС ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ (ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА 2024 Г.)** 236

Гвоздь В.К **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОБЕГООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНА И ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ДОБАВОК В ЗАСУШЛИВЫЙ ПЕРИОД 2024 ГОДА**..... 239

Жигалева Я. С. **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОТОКОВ CO_2 НА УЧАСТКАХ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ** 242

Зундадан Н. **АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРОПИЧЕСКИХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ СУБСТРАТАХ, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МАСЛИЧНОЙ ПАЛЬМЫ (Elaeis guineensis jacq.)**..... 245

Илюшкова Е.М. **АНАЛИЗ СУКЦЕССИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОГЕОЦЕНОЗА В УСЛОВИЯХ ЦЛГПБЗ**..... 249

Ильянов С.Б., **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛОЧНОГО КОРОВНИКА В КАЧЕСТВЕ КАМЕРЫ ЗАМЕРА КОНЦЕНТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА МЕТАНА ОТ МОЛОЧНОГО КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА** 253

Копейкин А.В. **МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ПРЕСНЫХ ВОД, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ** 258

Косов Н.С. **БИОМОНИТОРИНГ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОЛИГОНОВ ТКО УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРАВЫХ ПРИТОКОВ РЕКИ ЛИХОБОРКА** 261

Кузов Н.А. **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ МЕТСУЛЬФУРОН-МЕТИЛА В РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ**..... 266

Латышева О.С. **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ КОФЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РЕДЬКИ ПОСЕВНОЙ** 269

Никитенко А.М., Васенев П.И. **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ КОМПОСТА И ФОСФОГИПСА НА МЕТАБОЛИЗМ BACILLUS SUBTILIS И PSEUDOMONAS PUTIDA В ЗАГРЯЗНЕННОЙ СВИНЦОМ И ЦИНКОМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ** 272

Осорио Э.К. **МЕТОДОЛОГИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА РЕКРЕАЦИОННЫХ ТРОПАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ** 275

Санчез А.Э.Э., Авдеева А.В. **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ, НАКОПЛЕННОГО УГЛЕРОДА И ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДА В ГОРОДСКОМ ЛЕСУ МОСКВЫ «ЛЕСНАЯ ОПЫТНАЯ ДАЧА» РГАУ-МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА ВДОЛЬ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТА** 278

Родионов А.В. **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПАСТБИЩНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ КРЕСТЬЯНСКОГО (ФЕРМЕРСКОГО) ХОЗЯЙСТВА «КОРНЕВО»** 282

Савиткин А.Л. **ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО *(Acer negundo L.)* В ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОМ ПАРКЕ «ИЗМАЙЛОВО»** 285

Шелковичева А.А. **АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОТОПОВ ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ПАРКА «ЦАРИЦЫНО» ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ СПОРТИВНЫХ ПЛОЩАДОК)** 288

ИНСТИТУТ ЗООТЕХНИИ И БИОЛОГИИ 292

СЕКЦИЯ ЧАСТНОЙ ЗООТЕХНИИ 292

Фонт Пуэнте Х. **НОРМИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ КУР-НЕСУШЕК ЯИЧНОГО КРОССА ДЛЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА РЕСПУБЛИКИ КУБА** 292

Фонт Пуэнте Х. **ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА В ПТИЧНИКАХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РЕМОНТНЫХ КУРОЧЕК ЯИЧНОГО КРОССА** 295

Голентовский Д.Н. **ЗООТЕХНИЧЕСКАЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МЯСНЫХ ПЕРЕПЕЛОВ НА ГЛУБОКОЙ ПОДСТИЛКЕ В УСЛОВИЯХ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ** 299

Голентовский Д.Н **МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ МЯСНЫХ ПЕРЕПЕЛОВ НА ГЛУБОКОЙ ПОДСТИЛКЕ** 301

Малородов В.В. **ВЫРАЩИВАНИЕ БРОЙЛЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ КУР РОДИТЕЛЬСКОГО СТАДА РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА, В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ РАВНОМЕРНОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА** 304

Малородов В.В. **НЕОБХОДИМОСТЬ КОНТРОЛЯ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОКЛИМАТА В ПТИЧНИКАХ ДЛЯ БРОЙЛЕРОВ** 307

Малородов В.В. **ПРОДУКТИВНОСТЬ БРОЙЛЕРОВ В ПТИЧНИКАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОЗДУХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ НА ГЛУБОКОЙ ПОДСТИЛКЕ** 310

Садовникова М.А. **РОЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОВЦЕВОДСТВА** 314

Пруткова П.В. **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТИЛЯ ПРЫЖКОВ ЛОШАДЕЙ В КОНКУРЕ НА РАЗНЫХ ВИДАХ ПРЕПЯТСТВИЙ** 318

Сергеенкова Н.А., Олесюк А.П. **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО КОНЕВОДСТВА** 322

Кононова С.А. **АНАЛИЗ УГЛОВЫХ ПРОМЕРОВ ШЕТЛЕНДСКИХ И УЭЛЬСКИХ ПОНИ НА РЫСИ** 325

Демина А.А. **ЖИВАЯ МАССА И ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА ОВЦЕМАТОК ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ СКРЕЩИВАНИИ С БАРАНАМИ ПОРОДЫ ДОРПЕР** . 328

Абдуллабеков Р.А. **РАЗВИТИЕ МЯСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОДНЯКА АНДИЙСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ОВЕЦ С ГРУБОЙ И ПОЛУГРУБОЙ ШЕРСТЬЮ** 332

СЕКЦИЯ ВЕТЕРИНАРИЯ..... 335

Чисвина И.В., Акчурин С.В., Лисовская Я.В., Галыга С.Д. **ЭТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ДАТАСЕТОВ ДЛЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ ГЕМАТОЛОГИИ (НА ПРИМЕРЕ КУР)** 335

СЕКЦИЯ КОРМЛЕНИЕ 340

Косолапова Е.В. **ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ** 340

Ткачева Е.В., Косолапова В.Г., Алешин Д.Е. **МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЕ ОМЕГА-3 ИСТОЧНИКОВ (РЫБИЙ ЖИР И ЛЁН) В КОРМЛЕНИИ КУР НЕСУШЕК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЯИЦ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПНЖК** 343

Навар Х.М. **ГИДРОЛИЗОВАННАЯ ПЕРЬЕВАЯ МУКА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК БЕЛКА В РАЦИОНАХ БРОЙЛЕРОВ**347 *Навар Х.М* **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЗАМЕНЕ АНТИБИОТИКОВ-СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА В БРОЙЛЕРНОМ ПТИЦЕВОДСТВЕ: РОЛЬ ФИТОБИОТИКОВ, ПРОБИОТИКОВ И ИХ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМБИНАЦИЙ**..... 349

Кондобарова В.Н., Гандрахманов Д.Р. **ПЕРЕВАРИМОСТЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАЦИОНОВ РЕМОНТНЫХ ТЕЛОЧЕК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ БОБОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО БЕЗАЛКАЛОИДНОГО СОРТА В СТАРТЕРНЫХ КОМБИКОРМАХ** 351

Кондобарова В.Н., Гандрахманов Д.Р. **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБИОТИКА В КОРМЛЕНИИ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ НА ПРИМЕРЕ ООО «АГРОФИРМА «АНЯК»**. 354

Феоктистова Л.А. **ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ЙОДА «САТУРАН J» НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕЧЁНОЧНОГО ПРОФИЛЯ КРОВИ У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ** 357

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗООЛОГИИ, МОРФОЛОГИИ И ФИЗИОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ» 360

Актихов М.Ю. **ECOLOGICAL STRUCTURE OF WINTER RESIDENTIAL AVICOMPLEXES IN THE SOUTH-EASTERN MOSCOW REGION** 360

Елисеенко В.И., Царев И.И., Веселова Н.А. **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОЛЬФАКТОРНОГО ОБОГАЩЕНИЯ СРЕДЫ НА ПОВЕДЕНИЕ СУРИКАТ *SURICATA SURICATTA* SCHREBER, 1776 В МОСКОВСКОМ ЗООПАРКЕ** 363

*Ерашкин В.О, Митина А.А., Страхова Е.Д., Андреева К.И., Кондратова Т.А., Иволга Р.А.***СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕХ СИНТОПИЧНЫХ ВИДОВ СКАЛЬНЫХ ЯЩЕРИЦ**..... 365

Иволга Р.А., Кондратова Т.Э., Подольский И.А., Шихина Ю.Е., Матушкина К.А **МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ САХАЛИНСКОЙ ЖАБЫ (*BUFO SACHALINENSIS*) В ГРАДИЕНТЕ УРБАНИЗАЦИИ** 369

Кондратова Т.А., Иволга Р.А., Черненко Т.А., Зудилина А.А., Ерашкин В.О. **ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ НА ЛИЧИНОЧНОЕ РАЗВИТИЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ЖАБЫ, *BUFO SACHALINENSIS* В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ** 372

Кучерова А.О, Какунина О.С., Кидова Е.А. **ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМНЕНИЯ КАРОТИНОИДОВ В КОРМЛЕНИИ ЗЕМНОВОДНЫХ**..... 376

Лисовская Я.В., Кандыбин А.А, Акчурин С.В., Бубунец Э.В. **ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ТРАНСПОРТНОГО СТРЕССА У ОБЫКНОВЕННОГО КАРПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДНОГО КОНДИЦИОНЕРА** 379

Лопатина В.В., Вертипрахов В.Г. **ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АМИНОКИСЛОТ НА ЯЙЦЕНОСКОСТЬ И МИНЕРАЛЬНЫЙ ОБМЕН КУР-НЕСУШЕК**..... 383

Медовиков Н.М. **О РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЗИМОВКИ *BUFO SACHALINENSIS* NIKOLSKII, 1905 В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ** 385

Новиков В.А., Сорокин А.Г., Шилина А.П., Максимова Е.Е., Смуров А.В **РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА САПСАНАМИ *FALCO PEREGRINUS* TUNSTALL, 1771 ГЛАВНОГО ЗДАНИЯ МГУ В 2025 ГОДУ**..... 386

Юмагжин Р.Ф. **МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БУРЗЯНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ТЁМНОЙ ЛЕСНОЙ ПЧЕЛЫ ПАСЕКИ ЗАКАЗНИКА «АЛТЫН СОЛОК»** 393

СЕКЦИЯ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВЕДЕНИЯ, ГЕНЕТИКИ И БИОТЕХНОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ..... 396

Загарин А.Ю **КИШЕЧНЫЙ МЕТАГЕНОМ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КОРМЛЕНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ**..... 396

СЕКЦИЯ «ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА И БИОБЕЗОПАСНОСТЬ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ» 400

Горева Э.Р., Стафикопуло М.А., Юсупов С.Р. **РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ФОРМЫ МАСТИТОВ У КОРОВ В ООО «МИР»**..... 400

Смирнова Е.Б. **ПРОЯВЛЕНИЕ ФАГОЦИТОЗА ПЧЕЛ ПРИ ВАРРОАТОЗАНОЙ ИНВАЗИИ НА ФОНЕ ЛЕЧЕНИЯ АКАРИЦИДНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ С АДАПТОГЕНОМ** 403

Рябова И.П., Лысенко Ю.А. **ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕНОСИМОСТИ МОНЕНЗИНА 40% В ДОЗАХ, ПРЕВЫШАЮЩИХ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ, У ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ**..... 406

УДК 621.548

ПРИМЕНЕНИЕ МОТОР-КОЛЁС В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Карлаков Дмитрий Сергеевич, *аспирант, ассистент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имении академика И.А. Будзко,*
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, karlakov@rgau-msha.ru

Аннотация. *В статье рассмотрена конструкция и особенности применения мотор-колёс в качестве электрогенераторов в ветроэнергетических установках. Предложен и описан способ переподключения обмоток статора мотор-колеса, позволяющий повысить выработку электроэнергии при низких оборотах ветроколеса.*

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, ветрогенератор, ветроэнергетическая установка, электрогенератор, мотор-колесо*

Введение. При проектировании ветроэнергетических установок одним из наиболее важных вопросов является выбор типа и параметров генератора, преобразующего механическую энергию ветроколеса в электроэнергию. Большинство существующих генераторов, применяемых в ветроэнергетике, рассчитаны на работу при скоростях вращения, превышающих 200 об/мин [1]. При использовании таких генераторов на низких скоростях ветра, величины вырабатываемого ими напряжения недостаточно для зарядки аккумуляторных батарей. Это приводит к необходимости применения мультипликаторов для увеличения частоты вращения, или повышающих преобразователей для увеличения вырабатываемого напряжения [2]. Однако, оба этих решения снижают коэффициент полезного действия ветроэнергетической установки.

Цель исследования заключается в определении типа генератора, эффективно преобразующего механическую энергию вращения ветроколеса в электроэнергию при низких скоростях ветра.

Материалы и методы. Одним из возможных решений данной проблемы является применение в качестве генераторов мотор-колёс, в последнее время получивших широкое распространение в электротранспорте: электросамокатах, электровелосипедах и гироскутерах. Внешний вид мотор-колеса представлен на рисунке 1.

Мотор-колесо представляет собой бесщёточный двигатель постоянного тока (BLDC), обмотки которого расположены на статоре, одновременного являющимся колёсной осью, вокруг которого вращается ротор с постоянными неодимовыми магнитами. При работе в двигательном режиме контроллер получает сигналы от датчиков Холла, отслеживает положение ротора мотор-колеса и отвечает за переключение обмоток и регулировку величины подаваемого на них тока. Наибольшее распространение получили мотор-колёса с номинальным напряжением питания 36-48 вольт, номинальной мощностью 250-500 ватт и номинальной скоростью вращения порядка 1000 об/мин. При использовании мотор-колеса в генераторном режиме данный двигатель выступает источником трёхфазного переменного напряжения.

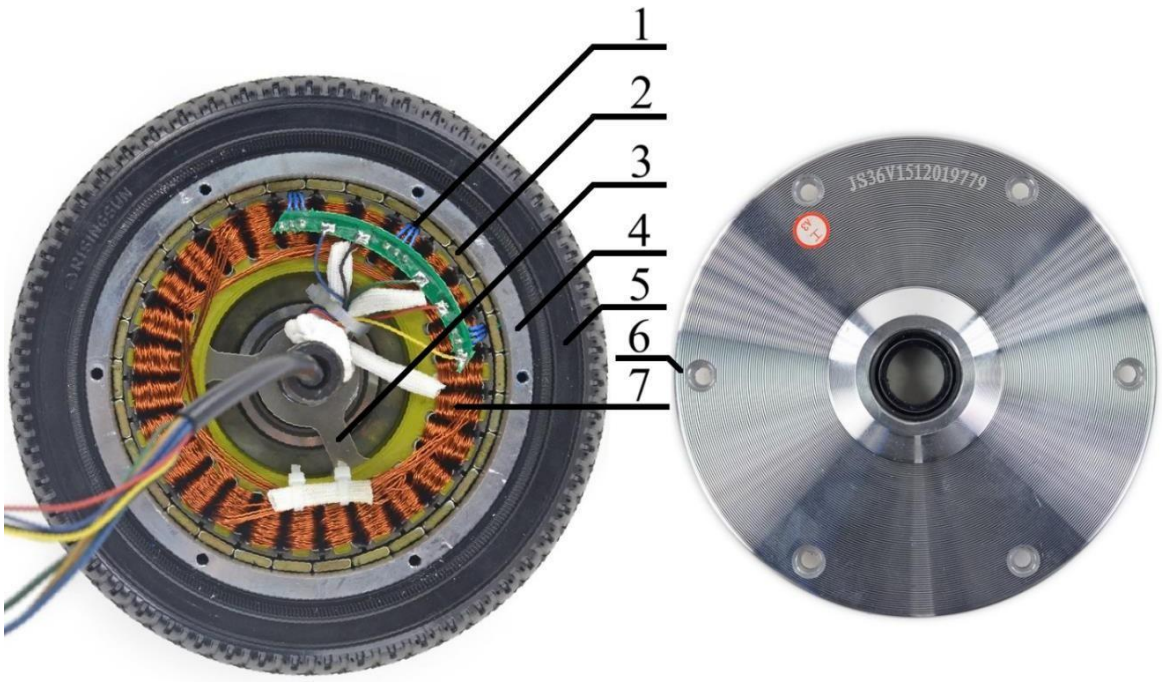


Рис. 1 – Внешний вид мотор-колеса

1 – датчики Холла; 2 – постоянные неодимовые магниты; 3 – статор; 4 – ротор; 5 – покрышка; 6 – крышка ротора; 7 – обмотки статора

Результаты исследования и выводы. Как правило, подключение обмоток мотор-колеса выполняется по схеме соединения «звезда». Для увеличения коэффициента заполнения паза статора медью, намотка выполняется несколькими проводниками малого диаметра (порядка 0,5-0,8 мм), соединёнными параллельно, а число параллельно соединённых проводников обычно составляет от 3 до 7. При этом, конструкция мотор-колеса позволяет изменить схему соединения фазных проводников с параллельной на последовательную (рисунок 2).

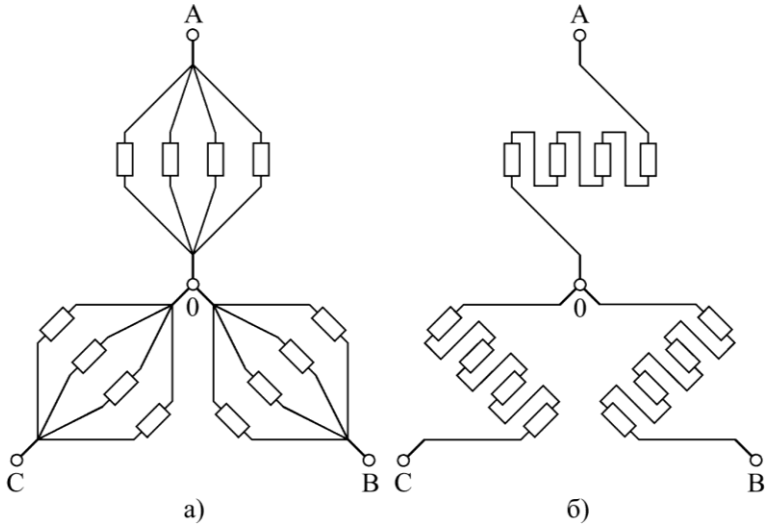


Рис. 2 – Схема соединения обмоток статора мотор-колеса до (а) и после (б) переподключения

Предложенная схема переподключения позволяет увеличить вырабатываемое мотор-колесом напряжение без перемотки статора, а также снизить скорость вращения ветроколеса, при котором начинается зарядка подключенной к ветрогенератору аккумуляторной батареи. Применение данного решения особенно актуально при изготовлении ветроэнергетических установок, использующих для работы силу давления ветра, поскольку концы лопастей

ветроколёс таких установок движутся со скоростью, меньшей чем скорость ветра, что приводит к необходимости применения низкооборотных электрогенераторов [3].

Библиографический список

1. Ветрогенераторы: принцип действия и устройство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energo-souz.ru/articles/kak-ustroen-vetrogenerator/ – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 23.04.2026).

2. Сидорова, М. А. Вертикальная ветроэнергетическая установка / М. А. Сидорова, О. В. Лештаев, Д. С. Карлаков // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии : Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 400-401. – EDN TPTLMT.

3. Старостина, С. С. Типы и конструктивные особенности ветрогенераторов / С. С. Старостина, Д. С. Карлаков, О. В. Лештаев // Современные проблемы энергоэффективности агроинженерных исследований в условиях цифровой трансформации : Материалы Международной научно-практической конференции, Балашиха, 20 мая 2025 года. – Балашиха: Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского, 2025. – С. 223-226. – EDN SIJAUX.

УДК 621.565.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМОРАЖИВАНИЯ ЛЬДА В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Борщев Георгий Владимирович*, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ведущий инженер, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», razorleaf.619@gmail.com*

Аннотация: Обоснована целесообразность применения комбинированных льдоаккумуляторов (ЛА) с возможностью накопления льда за счет естественного холода в зонах субарктического и резко континентального климатов. Проведены исследования по намораживания льда на макете в условиях естественного холода и в климатической камере.

Ключевые слова: комбинированный льдоаккумулятор, естественный холод, лёд, охлаждение

Введение. На сегодняшний день, в энергетике сформировались тренды, направленные на энерго и ресурсосбережение, уменьшение капитальных и эксплуатационных затрат, а также на повышение термодинамической эффективности применяемого оборудования. На фоне этого, холодильная отрасль, связанная со многими видами промышленности, обязана адаптироваться к современным тенденциям и вызовам. Это особенно важно учитывая высокий уровень энергопотребления промышленного холодильного оборудования. Так, согласно [1], на 2020 год доля потребления электроэнергии сектором холодильной техники во всем мире оценивалась в 20%.

Одним из направлений существенно рационализирующих работу холодильных систем является применение технологии хранения тепловой энергии (аккумуляции холода). Аккумуляторы холода позволяют накапливать тепловую энергию в периоды с малой нагрузкой на холодильную систему, чтобы в последствии реализовывать её в периоды пиковых нагрузок. Данный подход позволяет уменьшить капитальные затраты на парк холодильной техники,

снизить эксплуатационные затраты за счет аккумуляции в ночной период времени при более выгодном тарифе на электроэнергию, а также уменьшить уровень предельной нагрузки на сеть энергоснабжения объекта, на котором требуется охлаждение.

Наибольшее распространение среди аккумуляторов холода получили льдоаккумуляторы. В ЛА хранение и реализация аккумулированного холода достигаются за счет скрытой теплоты фазового перехода вода - лёд, что позволяет обеспечить высокую плотность тепловой энергии. Принцип действия данных аппаратов состоит в накоплении льда (зарядке) и его последующем расплавлении (разрядке) при поступлении в ЛА отепленной воды.

Особую актуальность применение ЛА представляет для различных предприятий пищевой промышленности, характеризующихся неравномерным распределением тепловых нагрузок. Так, например, холодильные системы с ЛА находят широкое применение в процессах охлаждения молока и молочной продукции [2]. Кроме того, данные аппараты востребованы в пивоваренной промышленности и применяются для получения ледяной воды, используемой в процессе охлаждения сусла. Также ЛА активно эксплуатируются в технологическом кондиционировании с целью поддержания требуемого микроклимата на предприятиях.

В то же время, не смотря на достаточно широкое распространение подобных аппаратов, потенциал современных ЛА не раскрыт полностью. С учетом особенностей климата Российской Федерации существенный интерес представляет использование естественного холода для минимизации эксплуатационных затрат в процессе зарядки ЛА. Так, например, существенный экономический эффект может оказать применение естественного холода для намораживания ледовых структур в ЛА в зонах субарктического и резко континентального климатов, где среднесуточная температура воздуха ниже минус 5 – минус 10 ℃ наблюдается более 4 – 5 месяцев в году. В связи с этим, учитывая необходимость круглогодичного получения ледяной воды для широкого спектра предприятий пищевой промышленности, актуальным направлением является создание комбинированных систем льдоаккумуляции, использующих как искусственный, так и естественный холод. Однако, не смотря на весь потенциал данного направления, наличию существенного числа патентов и научных работ [3-5], на сегодняшний день внедрено и реализовано небольшое число подобных аппаратов. Это во многом связано с рядом особенностей и трудностей возникающих при создании комбинированных ЛА:

1. Возрастающая сложность конструкции, что зачастую обуславливает невозможность модификации типовых ЛА для эксплуатации в комбинированных режимах;
2. Рост капитальных затрат при установке вспомогательного оборудования: вентиляторы, насосы, теплообменники и.т.д.;
3. Снижение полезного объёма в баке ЛА в случае установки дополнительных теплообменных секций;
4. Сложность регулирования контура ЛА, использующего естественный холод, при колебаниях температуры наружного воздуха.

В связи с этим, важной задачей является создание комбинированных ЛА лишенных перечисленных недостатков и удобных в эксплуатации. В настоящий момент, во ВНИХИ, проводится исследование применения ЛА с пленочным режимом разрядки в комбинированном режиме, в котором зарядка, при наличии естественного холода, производится за счет распыления воды над поверхностью труб при помощи оросительных устройств, а не в объёме жидкости. При таком способе зарядки не требуется существенной модификации ЛА, что позволяет уменьшить затраты на дополнительное вспомогательное и теплообменное оборудование.

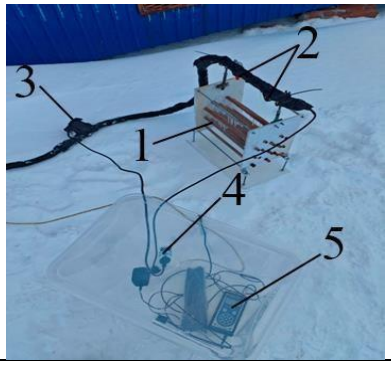
Материалы и методы. В условиях естественного холода в г. Салехард, а также в условиях климатической камеры, были проведены исследования по намораживанию ледовых структур на макете с плоскозмеевиковой конфигурацией медных трубок, как наиболее характерной для ЛА промышленного исполнения. Наружный диаметр каждой из

используемых трубок составлял 12,7 мм. Площадь теплообменной поверхности макета составляла 0,2 м^2. Для орошения теплообменной поверхности над макетом устанавливался распределитель с полноконусными оросителями с радиусом распыла до 1 м и рабочим давлением воды от 0,25 до 0,4 МПа. Циклы орошения чередовались с периодами паузы и для различных режимов составляли $\tau_{орошения}$ = 1…10 с и $\tau_{паузы}$ = 10…120 с соответственно. Исследования проводились при расходах G = 2,115·10^{-3}; 4,23·10^{-3}; 6,345·10^{-3}; 8,46·10^{-3} кг/с. В рамках исследований были проведены серии экспериментов по намораживанию ледовых структур при температурах воздуха от минус 5 до минус 25 ℃ и скоростях ветра до 5 м/с. Продолжительность экспериментальных исследований составляла 1, 2, 3 и 4 ч. Также проводилась оценка уноса распыляемой жидкости при различных скоростях потоков воздуха. Измерение температуры окружающей среды проводили при помощи термометра сопротивления ТЦМ 9410/М1Н. Скорость ветра измерялась при помощи анемометра Ermenrich Seek DN20.

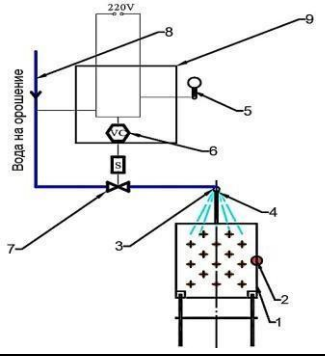
Внешний вид и схема стенда для испытаний в условиях естественного холода представлены на рисунке 1.

Обсуждение и обобщение полученных результатов. В результате проведённых экспериментов установлено, что наиболее эффективно процесс намораживания льда в условиях естественного холода происходит в диапазоне скоростей воздуха от 1 до 2 м/с. При скоростях ниже 1 м/с снижалась интенсивность намораживания, а при скоростях свыше 3 м/с существенно возрастал унос распыляемой воды, что приводило к неравномерному намораживанию ледовых структур на поверхности макета. При скорости потоков воздуха от 1,5 до 2 м/с наблюдалось формирование ледовых сталактитов, имеющих тенденцию к развитию поверхности и дальнейшему сращиванию. В то же время, при малом ветре или его отсутствии получаемые ледовые структуры имеют меньшую площадь поверхности при относительно дальнем расположении друг от друга.

В результате проведенных исследований были установлены рекомендуемые соотношения режимных параметров ($\tau_{орошения}$ = 1 с, $\tau_{паузы}$ = 10 с, G = 4,23·10^{-3} кг/с). При данных параметрах при скорости потоков воздуха до 2 м/с за 4 часа на теплообменной поверхности макета намораживалось свыше 9,5 кг льда, что соответствовало удельной массе ~48 кг/м^2. Для расхода 4,23·10^{-3} кг/с, средней температуре окружающего воздуха минус 15 ℃ и параметрах $\tau_{орошения}$ = 10 с, $\tau_{паузы}$ = 120 с и $\tau_{орошения}$ = 1 с, $\tau_{паузы}$ = 10 с было установлено, что с повышением средних значений скорости ветра от 1 до ~2,5 м/с наблюдается возрастание намораживаемой массы льда на ~35 и ~90% соответственно.



а)



б)

Рис. 1 Экспериментальный стенд

а) внешний вид стенда и основные элементы: 1 – макет плоскозмеевикового ЛА; 2 – оросители; 3 – соленоидный клапан; 4 – циклический таймер; 5 – термометр сопротивления; б) схема стенда: 1 – макет плоскозмеевикового ЛА; 2 – точка забора проб скорости потоков воздуха; 3 – распределительная трубка; 4 – оросители; 5 – чувствительный элемент термометра сопротивления; 6 – циклический таймер; 7 – соленоидный клапан; 8 – гибкий шланг с ТЭНом; 9 – контейнер

В результате обобщения данных полученных в ходе проведенных экспериментов для диапазонов скоростей потоков воздуха до 2 м/с и температур воздуха от минус 20 ℃до минус

10 ℃ с рекомендуемым соотношением режимных параметров была получена эмпирическая зависимость для определения удельной массы намораживаемого льда на 1 м^2 теплообменной поверхности $m_{уд}$ за временной промежуток до 4 часов:

$$m_{уд} = \tau \cdot 0{,}34 \cdot (t_{воздуха} \cdot (-0{,}37) + V_{воздуха} \cdot 13{,}76), \quad кг \quad (1)$$

где τ – продолжительность процесса намораживания льда, ч, $t_{воздуха}$ – температура окружающего воздуха, ℃, $V_{воздуха}$ – скорость потоков воздуха, м/с.

Выводы:

1. Обоснована целесообразность создания и применения ЛА комбинированного типа в качестве энергоэффективного решения актуального для регионов России, находящихся в зонах субарктического и резко континентального климатов.
2. Обоснована перспектива проведения процесса зарядки в комбинированном ЛА за счет распыления воды над поверхностью труб в условиях естественного холода при помощи оросительных устройств.
3. В результате обобщения экспериментальных данных установлено, что наиболее эффективно процесс намораживания льда естественным холодом происходит в диапазоне скоростей воздуха от 1 до 2 м/с. При малых скоростях существенно снижалась интенсивность намораживания, а при скорости свыше 3 м/с существенно возрастал унос распыляемой воды.
4. Получена эмпирическая зависимость для расчета интенсивности намораживания льда на теплообменной поверхности с плоскозмеевиковой конфигурацией медных трубок за временной промежуток до 4 часов для диапазонов скоростей потоков воздуха до 2 м/с и температур воздуха от минус 20 ℃ до минус 10 ℃ при соотношения режимных параметров $\tau_{орошения}$ = 1 с, $\tau_{паузы}$ = 10 с, G = 4,23·10^{-3} кг/с.

Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS 2025-0004.

Библиографический список

1. Бараненко, А. В. Итоги деятельности МАХ в 2019-2020 гг. и задачи на 2021 - 2022 гг. (Доклад президента Международной академии холода на 28 Общем годичном собрании 20 апреля 2021 г.) / А.В. Бараненко . - Текст : непосредственный // Вестник Международной академии холода. – 2021. – № 2. – С. 4-12.
2. Интенсификация тепломассообмена в процессе разрядки льдоаккумуляторов / Г. Ю. Гончарова, В. П. Пытченко, С. С. Борзов, Г. В. Борщев. - Текст : непосредственный // Молочная промышленность. – 2022. – № 10. – С. 18-21.
3. Энергосберегающая система охлаждения молока с использованием комбинированных водоледяных аккумуляторов/ Б. П. Коршунов, А. И. Учеваткин, Ф. Г. Марьяхин [и др.]. - Текст : непосредственный //Техника и технологии в животноводстве. – 2016. – №. 3 (23). – С. 152-157.
4. Коршунов, А. Б. Влияние энергосберегающих систем с использованием природного холода на энергоемкость процесса охлаждения молока / А. Б. Коршунов. - Текст : непосредственный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14. – №. 3. – С. 39-44.
5. Коршунов, Б. П., Аккумуляция холода: резерв повышения энергоэффективности охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции/ Б. П. Коршунов, А. Б. Коршунов. - Текст : непосредственный // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – №. 1. – С. 38-44.

УДК 621.313.333

ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА КРИТИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АПК

Бычков Сергей Александрович, *преподаватель кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени*

К.А. Тимирязева, sergeibychkov1997@ya.ru
***Сухов Сергей Алексеевич**, аспирант кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, sukhoffserega@yandex.ru*

***Аннотация:** Рассмотрена связь технического состояния асинхронных электродвигателей АПК с энергоэффективностью. На основе DFMEA выделены дефекты, повышающие потери, нагрев и риск отказа. Обосновано применение PdM, MCSA, термометрии и вибродиагностики для раннего выявления деградации и энергосберегающей эксплуатации.*

***Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, энергоэффективность, предиктивная диагностика, DFMEA, АПК.*

Энергосбережение в АПК связано не только с заменой оборудования и повышением класса энергоэффективности электроприводов, но и с удержанием двигателя в техническом состоянии, близком к расчётному. Для общепромышленных асинхронных электродвигателей, используемых в насосах, вентиляторах, транспортёрах, смесителях и вспомогательных механизмах, снижение эффективности нередко начинается раньше явного отказа — при росте активных потерь, локальном перегреве, увеличении вибрации, перекосе токов и повторяющихся перегрузках. Современные обзоры по энергоэффективным асинхронным приводам прямо указывают, что эксплуатационный режим и техническое состояние так же важны, как и класс энергоэффективности двигателя. [1, 7]

В исследованиях по диагностике асинхронных двигателей показано, что ранние дефекты статора, ротора и механических узлов проявляются в токовых, вибрационных и тепловых сигналах задолго до аварийного останова. В свою очередь, современные подходы к predictive maintenance рассматривают мониторинг состояния, обработку данных, алгоритмы анализа, контур принятия решения и интерпретируемое взаимодействие с персоналом как единую систему, а не как отдельный «умный модуль». [2–6]

В этих условиях календарное обслуживание недостаточно чувствительно к латентному переходу двигателя в неэффективное состояние. Поэтому цель работы состоит в том, чтобы обосновать подход к приоритизации критичных дефектов асинхронных электродвигателей по их совместному влиянию на энергоэффективность и надёжность эксплуатации.

В статье рассматриваются преимущественно общепромышленные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, применяемые в стационарных и вспомогательных установках АПК. С позиции энергосбережения критичны не только отказы, приводящие к полной остановке, но и предельные состояния, при которых двигатель ещё сохраняет работоспособность, однако уже функционирует с повышенными потерями. К таким состояниям относятся рост потерь в магнитопроводе, асимметрия магнитного поля, ухудшение теплоотвода, деградация изоляции и межвитковые замыкания. Именно они формируют понятную связь между тематикой надёжности и энергосбережения. [5–7]

Материалы DFMEA целесообразно использовать здесь не как формальный атрибут конструкторской документации, а как инструмент отбора тех отказов, которые одновременно значимы по трём критериям: по влиянию на потери, по риску развития тяжёлого повреждения и по наблюдаемости штатными или малозатратными средствами контроля. Такой подход позволяет уйти от излишне общего перечисления неисправностей и сосредоточиться на тех дефектах, которые действительно влияют на эксплуатационную энергоэффективность двигателя.

Таблица 1

Критичные дефекты асинхронных электродвигателей и их связь с энергоэффективностью эксплуатации

Отказ	Причина	Проявление	Влияние на потери	Влияние на надёжность	Меры контроля
Рост потерь в магнито-проводе статора	Деградация межлистовой изоляции, увлажнение, температур-ное старение, неудачный выбор материала	Нагрев при номиналь-ной нагрузке, снижение энергетичес-ких показателей, локальные горячие зоны	Увеличение потерь в стали, дополнительный нагрев, снижение КПД	Ускоренное старение изоляции, риск теплового отключения	Контроль температур-ного режима, испытания на нагрев, применение материалов с устойчивым изоляцион-ным покрытием
Асимметрия магнитного поля и воздушного зазора	Отклонения геометрии, несоосность, дисбаланс ротора, монтажные нарушения	Вибрация, шум, пульсации момента, неустойчивость режима	Рост добавочных магнитных и механичес-ких потерь, ухудшение энергетичес-кой стабиль-ности	Ускоренный износ опорных узлов и изоляции, риск развития вторичных дефектов	Вибро-диагностика, контроль соосности и балансировки, анализ токовых гармоник
Деградация изоляции обмотки статора	Термическое старение, загрязнение, влага, перенапряжения, недостаточная пропитка	Снижение сопротивле-ния изоляции, рост токов утечки, локальный перегрев	Увеличение электричес-ких потерь и вероятность работы в аварийно-напряжён-ном режиме	Риск замыкания на корпус и внепланово-го останова	Периодичес-кий контроль сопротивле-ния изоляции, термометрия, контроль условий среды
Межвитковое замыкание	Разрушение межвитко-вой изоляции, перегрев, вибрацион-ное воздействие	Асимметрия фазных токов, быстрый нагрев, снижение развиваемо-го момента	Рост потерь в меди, снижение КПД, перерасход электро-энергии	Переход в тяжёлый отказ, поврежде-ние обмотки и отключение привода	MCSA, температурный мониторинг, раннее выявление отрицатель-ной последо-вательности и характерных гармоник
Ухудшение теплоотвода	Загрязнение каналов охлаждения, ухудшение теплового контакта, отказ вентиляции, пылевая нагрузка	Устойчивый перегрев при обычной нагрузке, повторяю-щиеся срабатыва-ния тепловой защиты	Рост сопротивле-ния обмоток и активных потерь, вынужден-ное снижение допустимой нагрузки	Ускоренное старение изоляции и сокращение ресурса	Очистка системы охлаждения, тепловизион-ный контроль, тренд температуры под нагрузкой
Отказ канала температур-ного контроля	Механичес-кое поврежде-ние датчика, вибрация, коррозия соединений, электро-магнитные помехи	Искажение или потеря сигнала, отсутствие достоверной оценки теплового состояния	Косвенное повышение потерь из-за несвое-временного обнаруже-ния перегрева и неэффектив-ного режима	Скрытое развитие теплового дефекта, повышение вероятности аварийного отказа	Резервирова-ние датчиков, контроль правдоподо-бия сигнала, виртуальные датчики и перекрёстная проверка

Таблица 1 не претендует на полный каталог отказов. Её задача — показать те состояния, при которых надёжность и энергоэффективность оказываются связаны напрямую. Для задач

мониторинга в первую очередь должны отслеживаться не просто наиболее частые неисправности, а такие режимы деградации, которые одновременно увеличивают потери, ускоряют старение двигателя и остаются некоторое время скрытыми для регламентного обслуживания. Именно поэтому в таблицу включены не только электрические, но и тепловые и диагностические отказы. [4–6]

С практической точки зрения DFMEA-ориентированная приоритизация означает, что объектами мониторинга должны становиться не любые доступные параметры, а признаки, чувствительные к энергетически значимым дефектам. Для асинхронных двигателей минимальный контур мониторинга включает токовые сигналы, температурные признаки и вибрационные характеристики. Токовый анализ, включая MCSA, остаётся одним из наиболее доступных методов диагностики роторных и статорных дефектов; температурный контроль нужен для фиксации скрытого роста активных потерь; вибродиагностика позволяет дополнить картину при несоосности, дисбалансе и развитии механических повреждений. [4–6]

При этом предиктивное обслуживание не следует сводить только к сложным AI-моделям. Для массового парка приводов в АПК более оправдан ступенчатый подход. На базовом уровне достаточно порогового и трендового контроля тока, температуры и числа перегрузок. На следующем уровне применимы спектральные признаки, расчётные индикаторы деградации и правила принятия решения. Для наиболее ответственных объектов могут использоваться модели обнаружения аномалий и оценки остаточного ресурса, однако современная литература подчёркивает, что такие решения должны быть встраиваемыми в реальный контур обслуживания и по возможности интерпретируемыми для инженерного персонала. [2, 3]

Рассматриваемая система диагностики позволяет раньше выявить межвитковый дефект, ухудшение теплоотвода, рост потерь в магнитопроводе или асимметрию воздушного зазора, и это дает возможность ограничить работу двигателя в неэффективном состоянии. Упомянутые выше конструктивные решения, направленные на снижение тепловой и электромагнитной нагрузки, включая модернизацию схем соединения обмоток, могут рассматриваться как дополнительное направление повышения эксплуатационных характеристик, но не как замена мониторинга фактического состояния. [1, 7]

Энергосбережение в данной работе рассматривается как результат исправного технического состояния двигателя. Для оборудования в АПК снижение потерь достигается не только заменой двигателя, внедрением частотного регулирования и прочими стандартными методами, но и предупреждением работы с деградирующей изоляцией, перегревом, вибрацией и токовой асимметрией. Практическая значимость подхода состоит в возможности обосновать минимально необходимый набор диагностических признаков, по которым можно выявлять энергетически значимые дефекты асинхронных электродвигателей и выбирать приоритетные мероприятия технического обслуживания. [2, 5, 7]

Заключение. Энергоэффективность асинхронного электродвигателя в эксплуатации определяется не только его паспортными параметрами, но и фактическим техническим состоянием. Наиболее существенное влияние на перерасход энергии оказывают дефекты, связанные с ростом потерь в магнитопроводе, асимметрией магнитного поля, деградацией изоляции, межвитковыми замыканиями и нарушением теплоотвода.

Перспективным направлением является поэтапное внедрение систем мониторинга состояния и PdM: от базового контроля тока и температуры до моделей раннего обнаружения аномалий и оценки остаточного ресурса. Однако для практики АПК принципиально важно, чтобы такие решения оставались интерпретируемыми, экономически оправданными и ориентированными на конкретные механизмы потерь. [2–7]

Библиографический список

1. Теплова Я.О., Сударев А.А., Сухов С.А., Бычков С.А. Перспективы применения технологии совмещенных обмоток электрических машин для железнодорожного транспорта // Техника железных дорог. 2022. № 4(60). С. 61–67.

2. Ucar A., Karakose M., Kırımça N. Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends // Applied Sciences. 2024. Vol. 14. No. 2. Art. 898. DOI: 10.3390/app14020898.
3. Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.N., Vita R., Francisco R.P., Basto J.P., Alcalá S.G. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance // Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol. 137. Art. 106024. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106024.
4. Gangsar P., Tiwari R. Signal based condition monitoring techniques for fault detection and diagnosis of induction motors: A state-of-the-art review // Mechanical Systems and Signal Processing. 2020. Vol. 144. Art. 106908. DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.106908.
5. Garcia-Calva T., Morinigo-Sotelo D., Fernandez-Cavero V., Romero-Troncoso R. Early Detection of Faults in Induction Motors—A Review // Energies. 2022. Vol. 15. No. 21. Art. 7855. DOI: 10.3390/en15217855.
6. Halder S., Bhat S., Zychma D., Sowa P. Broken Rotor Bar Fault Diagnosis Techniques Based on Motor Current Signature Analysis for Induction Motor—A Review // Energies. 2022. Vol. 15. No. 22. Art. 8569. DOI: 10.3390/en15228569.
7. Dinolova P., Ruseva V., Dinolov O. Energy Efficiency of Induction Motor Drives: State of the Art, Analysis and Recommendations // Energies. 2023. Vol. 16. No. 20. Art. 7136. DOI: 10.3390/en16207136.

УДК 631.589

ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНИРОВАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ САЛАТА В УСЛОВИЯХ СИТИ-ФЕРМ

***Пискарёва Анастасия Владимировна**, аспирант кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И.А. Будзко ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

***Аннотация**: В статье рассматриваются направления применения озонирования на сити-фермах. Отмечается многофункциональность этого агротехнологического приема. В статье перечислены проблемы, с которыми сталкиваются сити-фермы и решения их с помощью озонирования, обосновывается возможность использования озонирования для очистки бытовых сточных вод с целью их повторного применения в гидропонных системах. В статье отмечены преимущества применения озонирования для улучшения качества выращиваемого салата.*

***Ключевые слова**: озонирование, озон, сити-фермерство, гидропоника, окислительный стресс, антоцианы.*

Сити-фермерство или городское фермерство представляет собой выращивание зелени, овощей, микрозелени в городской среде, часто с использованием технологий гидропоники и искусственного климата. В замкнутых пространствах сити-ферм: контейнерах, подвалах, ангарах, – быстро распространяются грибки, плесень и бактерии, способные уничтожить весь урожай. Озонирование является одним из вариантов борьбы с перечисленными негативными факторами [1].

Однако применение озонаторов на сити-ферамах является эффективным методом не только для обеззараживания помещений. Так, научной статье, опубликованной в журнале Frontiers in Plant Science [2] в 2022 году, исследовалось, насколько возможно использование озонирования в качестве метода для увеличения содержания полезных биоактивных соединений в красном листовом салате.

В этом исследовании растения красного салата в возрасте 20 дней в течение 72 часов подвергались воздействию озона в двух концентрациях: 100 и 200 частей на миллиард (ppb). Для сравнения выращивалась также контрольная группа, которая не озонировалась. Ученые

анализировали рост растений, экспрессию генов, ответственных за синтез антиоксидантов, и накопление полезных веществ, фенолов, флавоноидов, антоцианов, в листьях разного возраста.

Исследователи зафиксировали, что концентрация 100 ppb не оказала существенного влияния на рост салата, а концентрация 200 ppb через 72 часа привела к заметному снижению свежей массы растений (в 1,3 раза по сравнению с контролем).

Концентрация 100 ppb оказалась наиболее эффективной для накопления в молодых листьях антоцианов, которые дают красную окраску и являются мощными антиоксидантами. Накопление антоцианов увеличивалось непрерывно в течение 48 часов. Концентрация озона 200 ppb привела к большему накоплению антиоксидантов в старых листьях. Однако это сопровождалось угнетением роста.

Исследователи объяснили этот механизм действия следующим образом. Озон, будучи сильным окислителем, вызывает у растения окислительный стресс. В ответ на это растение активирует защитные механизмы, включая гены, отвечающие за синтез фенольных соединений, флавоноидов и антоцианов. Эти соединения нейтрализуют активные формы кислорода, образующиеся под действием озона, тем самым защищая растение от повреждений[2].

Таким образом, контролируемое кратковременное воздействие озона может стать новым эффективным методом предуборочной обработки для значительного повышения содержания антиоксидантов в листовом салате, выращиваемом в закрытых агросистемах. Это позволяет получать продукцию с улучшенными полезными для здоровья человека свойствами, без существенного вреда для урожайности, если правильно подобрать концентрацию и продолжительность обработки.

Озонирование на сити-фермах может стать также технологией, снижающей затраты на водоснабжение. Такой вывод можно сделать, опираясь на опыт исследователей, описанный в статье журнала Agriculture в 2023 году. Статья посвящена исследованию возможности повторного использования бытовых сточных вод, очищенных, в том числе, с применением озонирования, для выращивания салата в гидропонных системах [3].

Ученые проверили, можно ли использовать сточные воды разной степени очистки в качестве питательного раствора для гидропоники, чтобы экономить пресную воду и удобрения.

Исследователи рассматривали следующие типы исследованной воды[3]:

1. HS – эталонный питательный раствор для контроля.
2. CE – обычный аэробный очищенный сток.
3. CEO – (озонированный CE): тот же сток, но обработанный озоном.
4. AN – вода, прошедшая анаэробную предварительную очистку с последующей нитрификацией (более высокая концентрация азота и фосфора).
5. ANC –вода типа AN с дополнительной фильтрацией через уголь.

Результаты исследования показали, что очищенная с применением озона вода оказалась пригодной для выращивания салата. Растения достигли сопоставимого с контрольной группой веса и химического состава. Однако в воде этого типа быстро истощались азот и фосфор, что ограничивало рост растений. Однако наблюдался и положительный эффект. В жару в обычной воде (CE) наблюдалась гипоксия корней. В озонированной воде (CEO) этой проблемы не было из-за постоянного поступления остаточного озона и перенасыщения кислородом. В прохладную погоду салат на озонированной воде достигал массы на 90% большей, чем на обычной воде (CE) (предположительно, из-за стимуляции роста остаточными количествами озона).

Фильтрация через активированный уголь (ANC) удалила из воды важные катионы, что привело к дефициту железа (Fe), марганца (Mn), меди (Cu), цинка (Zn) и калия (K), снизив урожайность по сравнению с AN.

Опираясь на данные исследователей, показывающих, что наибольшую урожайность показала вода AN (анаэробно-аэробная обработка), можно сделать вывод, что озонирование может быть эффективным с последующим добавлением удобрений нужной концентрации.

Таким образом, сочетание очистки озонированием и гидропоники позволяет эффективно утилизировать сточные воды. Это может снизить затраты электроэнергии на очистных сооружениях и сократить потребление воды в сельском хозяйстве, решая проблему загрязнения водоемов.

При правильном подборе режима озонирование становится безопасной, экономичной и высокотехнологичной стратегией для сити-ферм, позволяя одновременно дезинфицировать среду, повышать антиоксидантную ценность продуктов и сокращать водопотребление за счет повторного применения очищенных сточных вод.

Библиографический список

1. Коновалов, С.А. Особенности технологии и современные устройства для получения озона / С.А. Коновалов // Экологический вестник Донбасса. – 2023. – № 8. – С.16-20.

2. Lee, J. Ozone control as a novel method to improve health-promoting bioactive compounds in red leaf lettuce (Lactuca sativa L.) / J. Lee, E. Goto // Front. Plant Sci. –2022. – №13. – https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1045239

3. Germer J. Growth of Lettuce in Hydroponics Fed with Aerobic- and Anaerobic–Aerobic-Treated Domestic Wastewater / J. Germer, C. Brandt, F. Rasche, T. Dockhorn, A. Bliedung// Agriculture. – 2023. – №13(8) . – https://doi.org/10.3390/agriculture13081529

УДК 621.9

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Лештаев Олег Валерьевич, *кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имении академика И.А. Будзко, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, leshtaev@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В статье рассматривается применение солнечных фотоэлектрических установок в системах распределенной генерации. Представлены структурная схема системы распределенной генерации и уравнение баланса мощностей системы. Описаны ограничивающие условия работы системы.*

Ключевые слова: *солнечная фотоэлектрическая установка, системы распределенной генерации, возобновляемые источники энергии.*

В современном мире всё больше внимания уделяется вопросам экологии и устойчивого развития. Одним из ключевых аспектов этой проблемы является переход к более чистым и эффективным источникам энергии. Этот процесс, известный как энергопереход, имеет долгую историю и претерпел несколько этапов развития. Четвертый энергопереход характеризуется концепцией 3Д:

- декарбонизация – снижение потребления углеродных топлив и замена их на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) (солнце, ветер, вода);
- децентрализация – переход от крупных энергогенерирующих объектов к распределенной генерации [1] (объект генерации располагается в непосредственной близости от потребителя)
- диджитализация – внедрение цифровых технологий для управления системами распределенной генерации.

Данная концепция ведет к построению технически новой системы электроснабжения (рисунок 1), в которой кроме действующих электростанций появляются малые генерирующие установки (принадлежащие как частным лицам, так и энергоснабжающим организациям),

расположенные рядом с потребителем электроэнергии и выдающие сгенерированную электроэнергию в централизованную сеть.

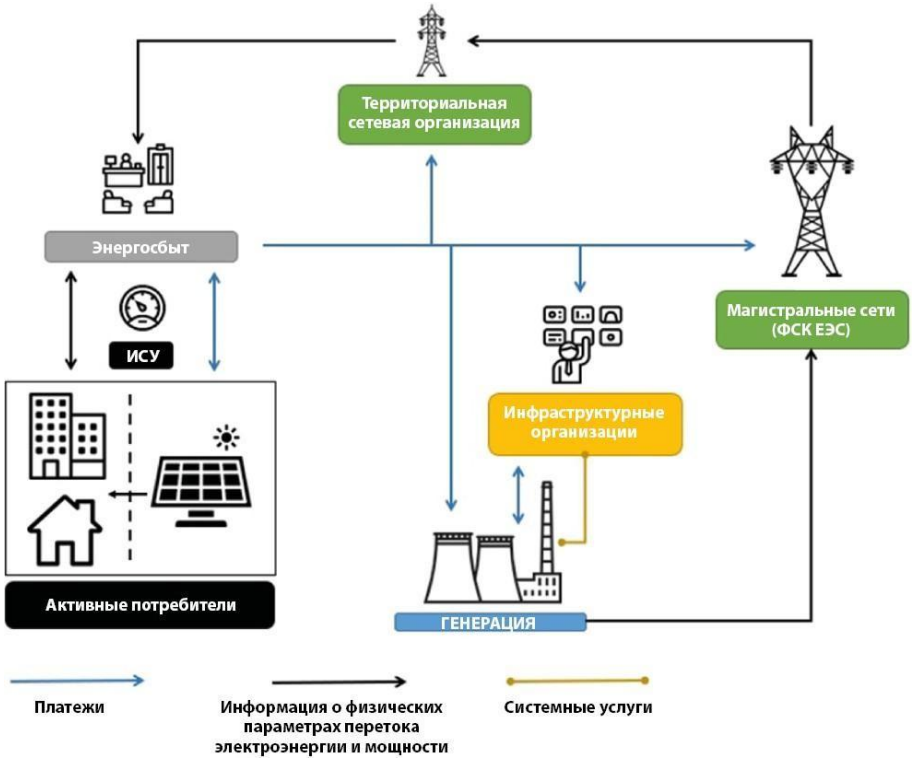


Рис. 1 – Система распределенной генерации

Применение в системе распределенной генерации [2] солнечных фотоэлектрических установок (СФУ) с накопителями электроэнергии имеет ряд преимуществ, по сравнению с другими видами ВИЭ: экологичность, модульность, низкие эксплуатационные расходы.

Эффективная работа системы распределенной генерации с СФУ может быть обеспечена при соблюдении баланса мощностей:

$$\eta_{\text{инв}} P^{DC}_{\text{СФУ}}(t) + P_{\text{р}}(t) - P_{\text{з}}(t) + P^{\text{и}}_{c}(t) - P^{\text{э}}_{c}(t) = P_{\text{н}}(t), \quad (1)$$

где $\eta_{\text{инв}}$ – КПД инвертора; $P^{DC}_{\text{СФУ}}(t)$ – выработка СФУ; $P_{\text{р}}(t)$, $P_{\text{з}}(t)$ – мощность разряда и заряда накопителя электроэнергии; $P^{\text{и}}_{c}(t)$, $P^{\text{э}}_{c}(t)$ – импортная и экспортная мощность централизованной сети, $P_{\text{н}}(t)$ – мощность нагрузки.

При соблюдении условия (1) необходимо соблюдать еще два ограничения:

1) не производить одновременный заряд и разряд накопителей

$$P_{\text{р}}(t) \cdot P_{\text{з}}(t) = 0 \quad (2)$$

2) не производить одновременную выдачу энергии в централизованную сеть и потребление из сети:

$$P^{\text{и}}_{c}(t) \cdot P^{\text{э}}_{c}(t) = 0 \quad (3)$$

Переход от классической системы электроснабжения к системе распределенной генерации позволит снизить потери на передачу в линиях электропередачи [3], обеспечить поэтапное наращивание мощности, повысить надежность систем электроснабжения за счет возможности перехода в «островной» режим работы, снизить эксплуатационные расходы.

Применение солнечных фотоэлектрических установок в подобных системах является одним из наиболее перспективных направлений развития систем распределенной генерации. Их широкое внедрение способствует декарбонизации энергетики, повышению устойчивости сетей и энергетической независимости потребителей, повышению качества электроэнергии [4]. Успешная их интеграция требует комплексного подхода: технической адаптации сетей, развития нормативной базы и внедрения экономических стимулов инвесторов.

Библиографический список

1. Белов, С. И. Интеллектуальный анализ оптимизации работы микроэнергосистем в сельских электросетях / С. И. Белов, О. В. Лештаев // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике : Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 06–08 июня 2024 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2024. – С. 254-259. – EDN DMBAOM.
2. Определение качества и энергоэффективности передачи электрической энергии низкого напряжения / В. И. Загинайлов, Т. А. Мамедов, О. В. Лештаев, В. Э. Манько // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 80-88. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-1-80-88. – EDN EQSBAH.
3. Оценка эффективности работы электроэнергетической системы с распределенной генерацией / В. И. Загинайлов, Т. А. Мамедов, Н. А. Стушкина, О. В. Лештаев // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 4. – С. 147-159. – DOI 10.34286/1995-4646-2022-85-4-147-159. – EDN KBEEAV.
4. Leshtaev, O. V. Analysis of power supply options for a stable from a solar power plant / O. V. Leshtaev, N. E. Rtishcheva, K. P. Rtishchev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 3, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection, Moscow, 21 апреля 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 012013. – DOI 10.1088/1755-1315/808/1/012013. – EDN YNPSRP.

УДК 631.95

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Селезнева Дарья Михайловна, *кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, energo-dms@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В статье рассматривается применение электрофильтров для энергосбережения в птицеводческих помещениях. Выделены преимущества использования данных установок и рециркуляции воздуха, а также представлена вентиляционно-отопительная система с очисткой и частичной рециркуляцией воздуха в сельскохозяйственных помещениях*

Ключевые слова: *сельскохозяйственные помещения, микроклимат, рециркуляция, энергосбережение. .*

В современном мире энергосбережение становится всё более актуальной проблемой. Особенно это касается сельскохозяйственной отрасли, где энергозатраты на поддержание оптимальных условий содержания животных и птиц могут быть весьма значительными. Например, не менее 10 % от себестоимости продукции птицеводства составляют затраты на отопление помещений [1-3]. Применение энергосберегающий систем позволит уменьшить эти затраты и соответственно снизить себестоимость продукции сельскохозяйственной продукции.

Для обеспечения высокой продуктивности животных и птиц необходимо создать оптимальные условия содержания, включая температуру, влажность, освещение и вентиляцию. Это требует значительных затрат энергии, особенно на отопление и охлаждение помещений в разное время года.

Кроме того, системы вентиляции в сельскохозяйственных помещениях должны обеспечивать удаление избыточной влаги, углекислого газа и других вредных веществ, которые могут негативно сказаться на здоровье работников ферм, животных и птиц.

Традиционные системы вентиляции могут быть неэффективными и приводить к потере тепла или охлаждённого воздуха.

Имеется прямая связь стоимости продукции с энергозатратами, доля которых в её себестоимости возросла с 5-8% до 15-30% и более, что вызвано в первую очередь опережающим ростом тарифов и цен на электроэнергию и топливо по сравнению с ценами на с.-х. продукцию, а также использованием морально и физически устаревших технических средств, и систем теплообеспечения [4]. Их вышесказанного следует, что проблема энергосбережения в селькохозяйственных помещениях стоит остро. Для сокращения теплопотерь и улучшения параметров микроклимата предлагается использовать приточно-вытяжную систему с частичной рециркуляцией воздуха с применением электрофильтрации.

Применение электрофильтров в приточно-вытяжных системах вентиляции птичников имеет ряд преимуществ, представленных в работах [3-6]. Если использовать электрофильтры с частичной рециркуляцией воздуха, то можно добиться еще одного преимущества: за счёт улучшения качества воздуха электрофильтры могут снизить нагрузку на системы отопления и охлаждения, что приводит к экономии энергии [7].

Рециркуляцией называется процесс повторного использования части отработанного воздуха после его очистки и подогрева перед подачей обратно в помещение. Этот метод позволяет сократить потери тепла и уменьшить потребление энергии за счет того, что часть теплого воздуха возвращается внутрь помещения вместо полного выброса наружу. При этом важно обеспечить качественную очистку воздуха от пыли, микроорганизмов и других вредных примесей.

Преимущества применения рециркуляции:

1. Экономия энергии. Использование рециркуляционной системы позволяет существенно снизить расходы на отопление. Вместо того чтобы постоянно подогревать свежий воздух, поступающий снаружи, система использует уже нагретый внутренний воздух, что уменьшает нагрузку на отопительное оборудование.

2. Улучшение качества воздуха. Рециркуляционная система обеспечивает постоянную циркуляцию воздуха, что способствует равномерному распределению температуры и влажности по всему помещению. Это особенно важно для поддержания здоровья птицы, поскольку стабильный микроклимат снижает риск заболеваний.

3. Снижение выбросов загрязняющих веществ. Применение рециркуляционных систем помогает уменьшить выбросы углекислого газа и других загрязнителей в атмосферу, что положительно сказывается на экологической ситуации вокруг фермы.

4. Повышение производительности труда. Автоматизация процессов вентиляции и отопления упрощает управление системой, освобождая персонал от необходимости постоянного контроля над параметрами микроклимата [6].

Системы регулирования параметров микроклимата с частичной рециркуляцией (рис. 1) и применение электрофильтров позволит снизить затраты на отопление до 30% и увеличить производительность птицы до 10% [7]. Кроме того, уровень заболеваемости среди птицы снизится благодаря улучшению качества воздуха [5].

Применение рециркуляции в вентиляционно-отопительных системах сельскохозяйственных помещениях с использованием электрофильтров является перспективным направлением в сельском хозяйстве. Эта технология позволяет не только сэкономить ресурсы, но и создать комфортные условия для содержания работников, животных и птицы, что ведет к повышению комфорта работников, повышению продуктивности животных и птиц, снижению затрат на лечение и профилактику болезней.

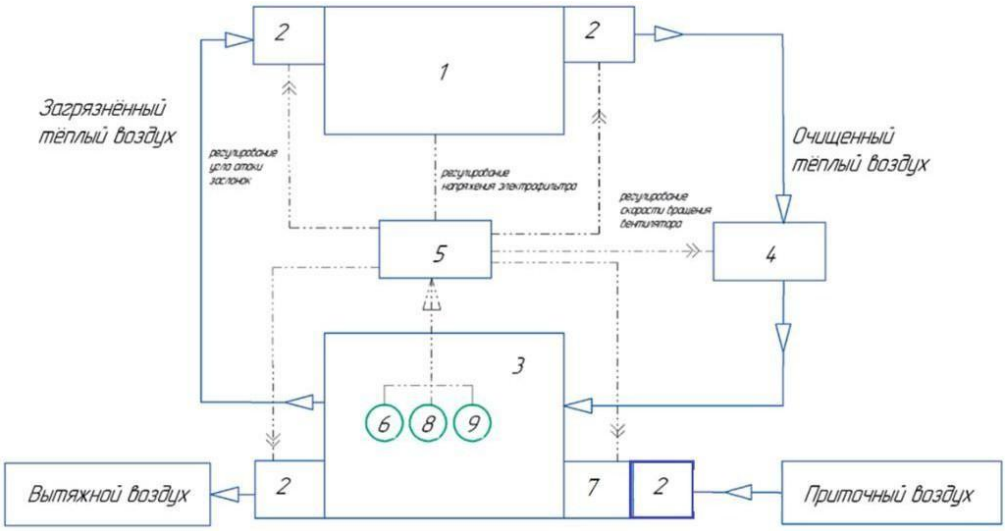


Рис.1 – Вентиляционно-отопительная система с очисткой и частичной рециркуляцией воздуха в сельскохозяйственных помещениях

1– электрофильтр; 2 – привод воздушной заслонки; 3 – животноводческое помещение; 4 – электродвигатель вентилятора; 5 – блок контроллера; 7 – калорифер; 6, 8, 9 –датчики воздушной среды (датчик температуры, датчик запылённости, датчик загазованности)

Библиографический список

1. Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК / Международный научный журнал 2011, № 5, С.83-91.

2. Отопительно-варочная печь / Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Бессонов К.Е., Богаченков А.Г. // Патент на полезную модель 138737 от 20.03.2014, заявка 2013141054/03 от 06.09.2013

3. Повышение эффективности вентиляции в птицеводстве / Т. Е. Маринченко, А. В. Скляр, В. И. Минаев, В. В. Мохов // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды, стандартов ЕС и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза : Материалы XXIV Международной научной конференции, Варшава, 25–26 сентября 2018 года. – Варшава: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „GIMPO”, 2018. – С. 168-170. – EDN YKUAVF.

4. Селезнева, Д. М. Аналитический обзор установок для обеззараживания и обеспыливания сельскохозяйственных установок / Д. М. Селезнева // Доклады ТСХА, Москва, 06–08 декабря 2018 года. Том выпуск 291, часть 2. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – С. 303-306. – EDN IVQHNO.

5. Селезнева, Д. М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофильтром / Д. М. Селезнева // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов в 9 ч., Новосибирск, 30 ноября – 04 2020 года / под ред. Гадюкиной А.В.. Том Часть 5. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 61-64. – EDN VMNXSW.

6. Селезнева, Д.М. Разработка и исследование комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Селезнева Дарья Михайловна. – Москва, 2023. – 168 с.

7. Форсайт-образование. Университет 4.0 / Л. И. Хоружий, О. Г. Каратаева, Е. А. Яшина [и др.]. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 562 с. – ISBN 978-5-4497-2011-5. – EDN YMEYSQ.

УДК 664.8.037.5

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СУШКИ

Борзов С.С., *младший научный сотрудник ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, donsb@bk.ru*
Лавренова О.Е., *инженер ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, lavrenova-oe@yandex.ru*
Грызунов А.А., *научный сотрудник ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН*

Аннотация. *Сублимационная сушка требует предварительно замороженного сырья, качество которого существенно влияет на конечный продукт. При этом традиционные процессы замораживания и размораживания могут приводить к потере полезных свойств, что обусловливает интерес к вакуумному методу замораживания. Данный подход рассматривается как начальный этап исследований его влияния на качественные характеристики пищевых продуктов и представляет собой принципиально другую технологию формирования структуры льда по сравнению с традиционными методами.*

Ключевые слова: *вакуумное замораживание, конвективное замораживание, скорость замораживания, энергопотребление процесса*

Введение

Перед сушкой важен этап предварительной заморозки [1], который может быть осуществлен конвективным (воздушным, традиционным) или вакуумным замораживанием. Такой подход позволяет формировать особый фронт кристаллизации, минимизируя повреждения структуры продукта, что может позволить сохранить его полезные свойства.

При традиционном конвективном (воздушном) замораживании энергия расходуется в основном на охлаждение продукта до температуры замерзания и отвод теплоты при кристаллизации воды. Однако интенсивность отвода скрытой теплоты продукта данного метода ограничена [2].

Особенность вакуумного замораживания

При создании разрежения в камере содержащаяся влага в продукте частично испаряется с переходом в стадию кипения, интенсифицируется процесс отвода внутренней теплоты, сопровождаемый резким понижением температуры продукта, и в результате наступает эффект «самозамораживания». Продолжительность вакуумного замораживания в отличие от конвективного замораживания может быть в десятки раз меньше.

Описание эксперимента

Экспериментальные исследования по вакуумному замораживанию проводили на модернизированной лабораторной сублимационной установке фирмы Hetosicc (Дания) с достижением остаточного давления 2,2 мм рт. ст. Процесс конвективного замораживания осуществляли в скороморозильной камере Polair при скорости воздуха 3–4 м/с и температуре в камере минус 35°С.

Для испытаний были выбраны образцы свёклы, представляющие собой цилиндры высотой 50 мм и диаметром 50 мм. В каждом образце устанавливали по два датчика: один располагался в теле цилиндра на глубине 3 мм от поверхности, второй – в геометрическом центре цилиндра.

Основным показателем в ходе эксперимента являлись значения температуры в зависимости от времени замораживания. Эксперимент завершали при достижении температуры значением минус 2°С датчиком, находящимся в геометрическом центре образца.

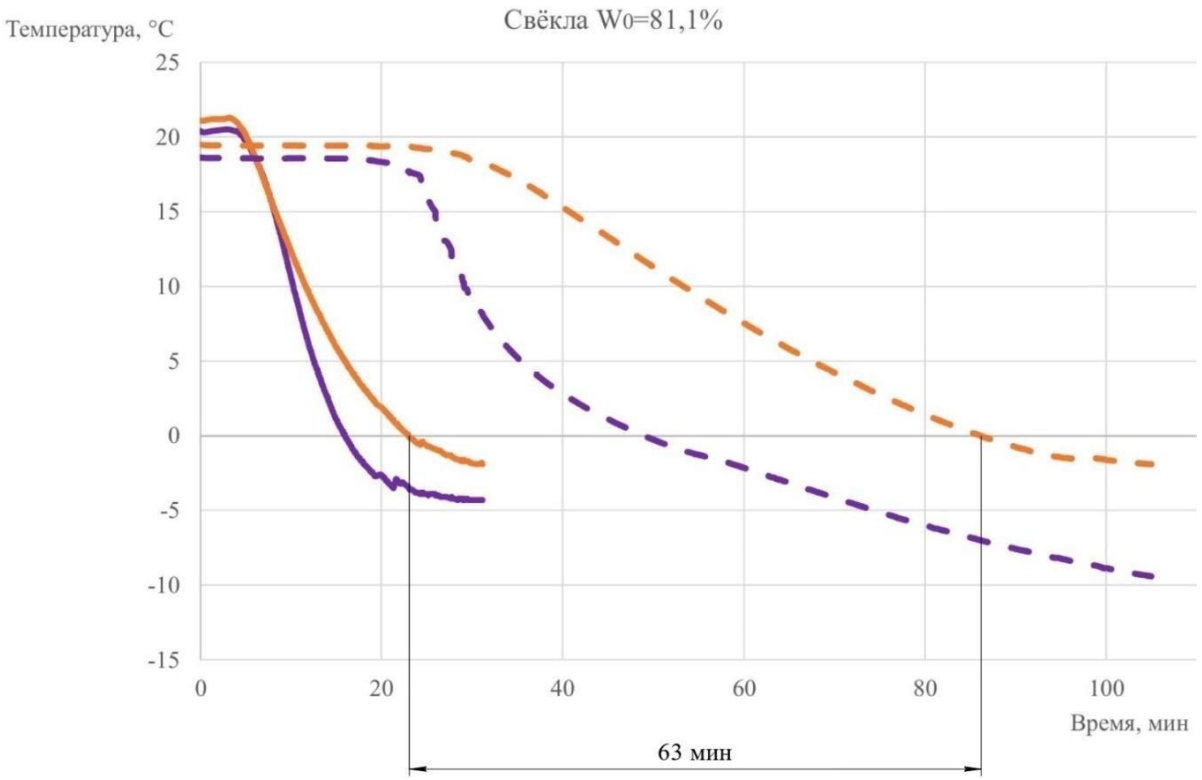


Рис. 1 Понижение температуры продукта с течением времени в зависимости от способа захолаживания

Показания датчика температуры при вакуумном замораживании:
– у поверхности продукта; – в теле продукта;
при конвективном (воздушном) замораживании:
– у поверхности продукта; – в теле продукта.

Оценку перспективности использования методов замораживания проводили по скорости процесса и энергетическим затратам [3].

На основе проведенного исследования установлено, что разница во времени достижения температуры 0°С в центральной точке одинаковых образцов свёклы составила 63 мин.

Получены следующие энергетические показатели: при конвективном замораживании продолжительность процесса до достижения температуры минус 2°С составила 105 мин при энергопотреблении 6,48 кВт·ч; при вакуумном замораживании – 31 мин при энергопотреблении 0,78 кВт·ч.

Выводы

Установлено, что вакуумное замораживание ускоряет процесс охлаждения образцов свёклы до температуры 0°С на 73 % по сравнению с традиционным методом. При этом энергетические затраты на замораживание образцов до температуры минус 2°С в 8,3 раза ниже, чем при воздушном замораживании.

Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS 2025-0004.

Библиографический список

1. Пойманов В.В., Прибытков А.В. Исследование процессов замораживания и вакуум-сублимационной сушки при производстве бактериальных концентратов // Материалы LXI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2022 год, Воронеж, 08 – 09 февраля 2023 года; В 3 ч. Ч.2 / под ред. О.С. Корнеевой; – Воронеж: ВГУИТ, 2023. – С. 14.

2. Патент № 2817874 C1 Российская Федерация, МПК A23B 4/06, F25D 13/00. Способ вакуумного замораживания мяса: № 2023126889: заявл. 20.10.2023: опубл. 22.04.2024 / В. А. Ермолаев, Д. Е. Федоров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия".

3. Борзов С.С., Каухчешвили Н.Э. Сравнение влияния обезвоживания пищевой продукции способами сублимационной и низкотемпературной вакуумной сушки на показатели качества сухого продукта // Энергоэффективные инженерные системы. Материалы международных научно-технических конференций. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ», Санкт-Петербург, 25 мая – 17 ноября 2023 года – СПб.: Университет ИТМО, 2024. – С. 252-253.

УДК 535.623.1:628.941.8:631.227.2

УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ДИНАМИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПТИЧНИКА

***Шабаев Евгений Адимович**, кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой, доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, e.shabaev@rgau-msha.ru*

***Беленов Виталий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, v.belenov@rgau-msha.ru*

***Романовец Михаил Михайлович**, инженер кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, romanovetsm@yandex.ru*

***Митяшова Софья Игоревна**, аспирантка кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, otter9132@gmail.com*

***Аннотация:** Работа посвящена исследованию зависимости коррелированной цветовой температуры от коэффициентов заполнения прямых токов светодиодов белого теплого и холодного света для светильника локального динамического освещения птичников с клеточным содержанием сельскохозяйственной птицы.*

***Ключевые слова:** светодиод, освещение, птичник, цветность.*

В системах освещения птичников птицы перспективно применение световых режимов с изменяемой коррелированной цветовой температурой оптического излучения, что позволяет повысить живую массу цыплят-бройлеров на 2,4…4,9 % [1]. Изменение коррелированной цветовой температуры оптического излучения светильников технически эффективно выполнять путем аддитивного смешивания световых потоков светодиодов белого света с разными коррелированными цветовыми температурами с ШИМ-управлением прямыми токами.

Предложена конструкция локального светодиодного светильника [2] системы динамического освещения птичников [3], в которой изменение оптического излучения выполняется за счет применения двух высокоэффективных светодиодов типа LM561B Plus

компании «Samsung LED», где один из них светодиод белого теплого света – с номинальной коррелированной цветовой температурой равной 2700 К, другой белого холодного – с коррелированной цветовой температурой 5700 К [4]. Однако для управления цветностью излучения светильника требуется математическое описание зависимости изменения коррелированной цветовой температуры его излучения от коэффициентов заполнения прямых токов используемых светодиодов.

Коррелированная цветовая температура смеси световых потоков светодиодов может быть вычислена методом, предложенным Маком Ками, по известным уравнениям [5]:

$$CCT = -449n^3 + 3525n^2 - 6823{,}3n + 5520{,}33; \quad (1)$$

$$n = (x - 0{,}3320)/(y - 0{,}1858) \quad (2)$$

где n – коэффициент, характеризующий угол наклона изотермической линии;

x и y – координаты цветности оптического излучения на цветовой диаграмме стандарта МКО 1931 г.

Коэффициент n при использовании светодиодов белого теплого и холодного света и ШИМ-управления их прямыми токами может быть определен по формуле:

$$n = \frac{\left(\frac{x_W}{y_W} + k_D\left(\frac{x_C}{y_C} - \frac{x_W}{y_W}\right)\right) \Big/ \left(1 + k_D\left(\frac{1}{y_C} - \frac{1}{y_W}\right)\right) - 0{,}332}{\left(1 + k_D\left(\frac{1}{y_C} - \frac{1}{y_W}\right)\right) \Big/ \left(1 + k_D\left(\frac{1}{y_C} - \frac{1}{y_W}\right)\right) - 0{,}1858}, \quad (3)$$

где k_D – коэффициент заполнения управляющего ШИМ сигнала;

x_W, y_W и x_C, y_C – координаты цветности светодиодов белого теплого и холодного света.

Коэффициент k_D при условии равенства абсолютных величин световых потоков светодиодов белого теплого и холодного света вычислялся как:

$$k_D = k_{DC} = 1 - k_{WC}, \quad (4)$$

где k_{DW} и k_{DC} – коэффициенты заполнения ШИМ-сигналов управления прямым током светодиодов белого теплого и холодного света.

Таким образом, при постоянных координатах цветности светодиодов, искомая модель была представлена в виде зависимости коррелированной цветовой температуры от одного коэффициента заполнения управляющего ШИМ-сигнала.

Проведенный аналитический анализ формы данной зависимости показал, что ее математическое описание возможно кубическим или квадратным уравнениями. Дальнейшее определение коэффициентов моделей регрессии выполнялось экспериментально. При проведении опытов учитывалась форма регулировочной характеристики используемого светодиодного драйвера [6] и температурные режимы работы светодиодов [4, 7].

Экспериментально выявлено, что для используемых светодиодов зависимость коррелированной цветовой температуры от коэффициента заполнения управляющего ШИМ-сигнала с высокой точностью (коэффициент детерминации равен 99,88 %) описывается уравнением вида:

$$CCT = ak_D(k_D + 1) + b, \quad (5)$$

где a = 1490 К– коэффициент пропорциональности между коррелированной цветовой температурой излучения светильника и коэффициентом заполнения управляющего ШИМ-сигнала, К;

b = 2660 – коэффициент характеризующий постоянную (минимальную) составляющую коррелированной цветовой температуры светильника, К.

Коэффициенты a и b определись по выражениям:

$$a = 0{,}5\left(CCT_C - CCT_W\right); \quad (6)$$

$$b = CCT_W, \quad (7)$$

где CCT_W = 2660 К и CCT_C = 5640 К – КЦТ светильника по каналу белого холодного и света, К.

Полученное уравнение (5) с коэффициентами регрессии, вычисленными по выражениям (6) и (7) является адекватным в соответствии с *F*-критерием Фишера. Графическая интерпретация модели зависимости для широкого диапазона изменения коэффициента k_D = 0…1, представлена на рис. 1.

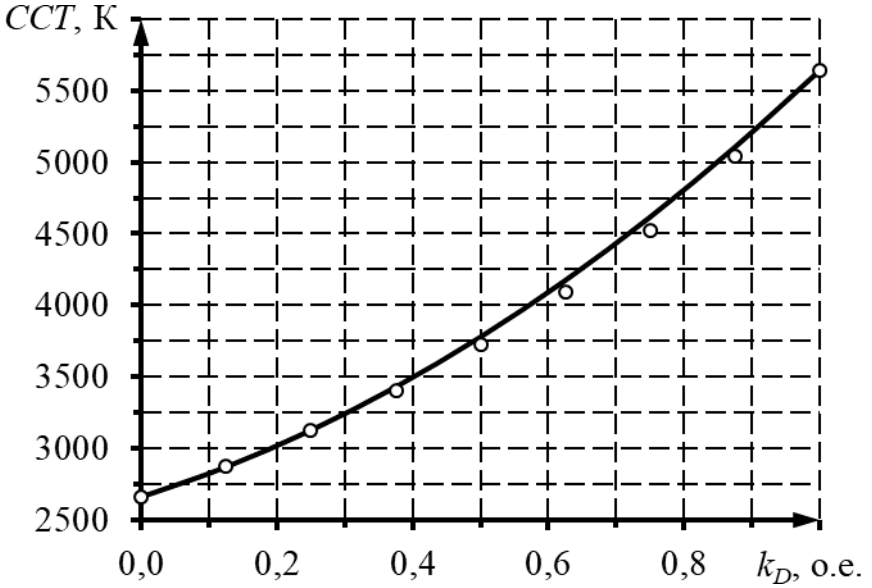


Рис. 1. График зависимости коррелированной цветовой температуры от коэффициента заполнения управляющего ШИМ-сигнала

При решении обратной задачи – расчета коэффициента заполнения управляющего ШИМ-сигнала, а, следовательно, и коэффициентов k_{DW} и k_{DC}, для излучения светильником света заданной коррелированной цветовой температуры на основе уравнения (5), получено уравнение вида:

$$k_D = 0{,}5\left(\sqrt{1 - 4\left(b - CCT\right)}\ a - 1\right). \quad (8)$$

Например, для заданной коррелированной цветовой температуры 4000 К (рис. 1) коэффициент заполнения управляющего ШИМ-сигнала, рассчитанный по формуле (7), равен k_D = 0,572. Следовательно, коэффициенты заполнения ШИМ-сигналов управления прямым током светодиодов белого теплого и холодного света, определенные по выражению (4), равны k_{DW} = 0,428 и k_{DC} = 0,572 соответственно. Для режима максимального светового потока светильника с заданной коррелированной цветовой температурой при сохранении соотношения токов через светодиоды k_{DW} = 0,748 и k_{DC} = 1.

Полученные математические модели (5) и (8) можно использовать для управления цветностью оптического излучения, разработанного локального светодиодного светильника системы динамического освещения птичников с клеточным содержанием цыплят-бройлеров.

Библиографический список

1. Aldridge, D. J. Performance and preference of broilers provided dual light warmth / D. J. Aldridge, C. G. Scanes, M. T. Kidd // Journal of Applied Poultry Research. – 2021. – Vol. 30, № 4. – P. 100187.

2. Шабаев, Е. А. Обоснование конструкции компактного светодиодного светильника системы локального освещения клеток для содержания птицы / Е. А. Шабаев, М. М. Романовец, С. А. Сагунов // АгроЭкоИнфо. – 2019. – № 4(38). – С. 33. – EDN SMJRDL.

3. Шабаев, Е. А. Цифровая система динамического локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы / Е. А. Шабаев, М. М. Романовец // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 1(46). – С. 26-30. – EDN USQELH.

4. Шабаев, Е. А. Исследование нагрева светодиодов компактного светильника для системы локального освещения / Е. А. Шабаев, М. М. Романовец, В. А. Кулачинский // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – № 1(57). – С. 78-86. – EDN OEJMDE.

5. Келли, Д. Теория цвета и успешное применение светодиодов Часть 2 / Д. Келли, М. Бадгутдинов // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – Т. 5, № 25. – С. 85-88. – EDN RKPEAX.

6. Шабаев, Е. А. Исследование многоканального высоковольтного светодиодного драйвера / Е. А. Шабаев, М. М. Романовец, В. А. Кулачинский // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 4(143). – С. 67-78. – EDN UKWZXU.

7. Газалов, В. С. Моделирование процесса нагрева радиатора, применяемого для охлаждения светодиода / В. С. Газалов, Е. А. Шабаев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 3(62). – С. 62-70. – EDN SQOKDD.

СЕКЦИЯ: «СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АПК»

УДК 620.193

КОРРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

***Барчукова Алина Сергеевна**, доцент кафедры материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, barchukova@rgau-msha.ru*

***Аннотация**: Введение добавок представляющих собой фторсодержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ) в смазки с мыльными загустителями, позволяют снизить коэффициент трения и повысить износостойкость поверхностей подвижных сопряжений на 30…50%. Поверхностно-активные вещества обладают высокой коллоидной стабильностью, способные не только концентрироваться на границе раздела фаз, но и образовывать мицеллярные системы в объеме смазки. Были изготовлены образцы модифицированных консистентных смазок ЦИАТИМ-221, ЛИТОЛ-24 и Солидол-С.*

***Ключевые слова**: консистентные смазки, фторсодержащие поверхностно-активные вещества, фракционный состав.*

На практике в эксплуатации находятся механизмы в которых вращательное движение преобразуется в линейное - винтовые пары основными элементами которых являются винт и гайка. Одной из областей применения являются подъемные механизмы. В данных механизмах действуют большие осевые нагрузки, вызывающие граничное трение в подвижных сопряжениях. Роль смазки в этом случае имеет большое значение для уменьшения износа элементов пар трения [1-10].

Для получения консистентных смазок с высокими трибологическими свойствами в качестве присадки использовалась перфторкарбоновая кислота.

Для определения коэффициента трения исследования проводились на машине трения модели ИИ 5018, в качестве пары трения были выбраны пара колодка-ролик, причем колодка изготовлена из стали 65, ролик из серого чугуна СЧ21.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23216-84. В процессе испытаний составы испытывались при различных значениях силы прижатия колодки к ролику. Сила прижима изменялась от 200Н до 1000Н с шагом 200Н. В процессе испытаний измерялся установившийся момент трения и в дальнейшем на его основе производился расчет коэффициента трения. Частота вращения ролика во всех испытаниях составляла 300 об/мин.

В трех образцах смазок были улучшены показатели трибологических свойств, за счет введения 0,5% присадки по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 1 - Зависимость момента и коэффициента трения от нагрузки

Сила прижима образцов Р, Н	Образец 1 (ЦИАТИМ 221)		Образец 2 (Литол-24)		Образец 3 (Солидол-С)	
	Момент трения, Н·м	Коэф. Трения	Момент трения, Н·м	Коэф. Трения	Момент трения, Н·м	Коэф. Трения
200	1,5	0,3	0,9	0,18	1,05	0,21
400	2,7	0,27	1,5	0,15	1,65	0,165
600	3	0,2	2,475	0,165	2,25	0,15
800	3,75	0,19	2,4	0,12	2,7	0,135
1000	3,9	0,16	2,85	0,114	2,7	0,108

Нагрузка сваривания увеличилась от 4,4 до 5,4 раз, диаметр пятна износа уменьшился от 21 до 38%, при увеличении коллоидной стабильности в 3 раза. Из трех образцов с лучшими качествами является образец 3.

В процессе эксплуатации вышки происходит накопление продуктов износа пар трения, что приводит к более интенсивному разрушению механизма. Износ винтовых механизмов зависит от величины нагрузки, как видно из результатов, нижний механизм изнашивается более интенсивно по сравнению с верхним, за счет больших нагрузок.

Разработанный модификатор при использовании его в качестве добавки к консистентным смазкам обеспечивает качественную прирабатываемость трущихся поверхностей, в результате чего происходит как заметное снижение коэффициента трения скольжения материалов винтовых пар, так и существенное уменьшение износа трущихся поверхностей.

Библиографический список

1. Гайдар, С. М. Влияние легирующих элементов и термической обработки на механические свойства низколегированных сталей / С. М. Гайдар, С. М. Ветрова, А. С. Барчукова // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 9. – С. 11-15. – DOI 10.31044/1684-2561-2023-0-9-11-15. – EDN OTJNAW.

2. Патент № 2553001 C1 Российская Федерация, МПК C10M 101/02, C10M 121/04, C10M 123/06. Консервационная консистентная смазка : № 2014115955/04 : заявл. 22.04.2014 : опубл. 10.06.2015 / С. М. Гайдар, А. Л. Дмитриевский, Д. И. Петровский, Е. А. Петровская ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN IDIFUG.

3. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники / А. Э. Северный, Е. А. Пучин, В. Е. Рязанов [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2009. – 160 с. – EDN YMLTGH.

4. Tempering Behavior of Novel Low-Alloy High-Strength Steel / V. Dudko, D. Yuzbekova, S. Gaidar [et al.] // Metals. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2177. – DOI 10.3390/met12122177. – EDN MWUOTL.

5. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде / М. Н. Ерохин, С. М. Гайдар, Д. М. Скороходов [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 72-78. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-3-72-78. – EDN QVBHFB.

6. Пикина, А. М. Повышение долговечности тонколистовых конструкций, разъемных и неразъемных соединений сельскохозяйственной техники в условиях эксплуатации : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пикина Анна Михайловна. – Москва, 2022. – 176 с. – EDN EFAMXB.

7. Экспериментальное исследование влияния эпиламированого графита на трибохарактеристикитрибосопряжений / С. М. Гайдар, О. М. Лапсарь, А. М. Пикина, С. М. Ветрова // Технология металлов. – 2024. – № 12. – С. 22-25. – DOI 10.31044/1684-2499-2024-0-12-22-25. – EDN BMDAIB.

8. Триботехнические свойства высокопрочной стали в абразивной среде / С. М. Ветрова, А. С. Барчукова, Н. С. Кривых [и др.] // Технический сервис машин. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 86-91. – DOI 10.22314/2618-8287-2025-63-2-86-91. – EDN NRBUMT.

9. Гайдар, С. М. Влияние легирующих элементов и термической обработки на механические свойства низколегированных сталей / С. М. Гайдар, С. М. Ветрова, А. С. Барчукова // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 9. – С. 11-15. – DOI 10.31044/1684-2561-2023-0-9-11-15. – EDN OTJNAW.

10. Ветрова, С. М. Влияние термической обработки на механические свойства низколегированной стали / С. М. Ветрова, А. С. Барчукова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, Могилев, 26–27 октября 2023 года. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2023. – С. 54. – EDN VNVYHF.

УДК 621.785

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АЗОТИСТОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ НАГРЕВА БОРСОДЕРЖАЩЕЙ ПАСТЫ ПРИ УПРОЧНЕНИИ КУТТЕРНЫХ НОЖЕЙ

Белоусов Дмитрий Валерьевич, *аспирант кафедры "Сопротивления материалов и детали машин" ИМЭ имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, belousovd951@gmail.com*

Научный руководитель – Казанцев Сергей Павлович*, Д.т.н., профессор кафедры "Сопротивление материалов и детали машин" ИМЭ имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kazansev@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В статье представлено теоретическое обоснование выбора атмосферной азотистой плазмы для нагрева пасты при борировании куттерных ножей. Проведён сравнительный анализ методов упрочнения, рассмотрены термодинамические и кинетические особенности процесса в системе Fe-B-N.*

Ключевые слова: *борирование; азотистая плазма; куттерные ножи; износостойкость; фазовый состав; плазменный нагрев; упрочнение.*

Мясоперерабатывающая промышленность в последние горды увеличивает производственные объёмы, а также ужесточает требования к качеству производимой продукции. Куттерные ножи - основной режущий инструмент мясорубки (куттера) работающий в условиях интенсивного абразивного износа обусловленный контактом с частицами костей (0,5–3,0 % массы сырья), а также в условиях агрессивной коррозионной

среды (мясные соки pH 5,5–6,5, солевые растворы) и при циклических термомеханических воздействиях [1-5].

Одним из основных материалов куттерных ножей является сталь 40Х13 после термообработки имеет 48–54 HRC (500–580 HV), что является допустимым, но не оптимальным параметром твёрдости. Производственные данные показывают, что удельный съём металла составляет 2,1–2,6 г на тонну переработанного сырья, что соответствует ресурсу ножа 800–1100 т до достижения критического параметра ширины режущей кромки. Каждая операция переточки сопровождается уменьшением геометрических размеров, так после 20–40 циклов требуется полная замена ножа.

Повышение твёрдости режущей кромки до 1200–1400 HV теоретически позволяет снизить удельный съём металла до 0,4–0,5 г/т, увеличивая ресурс ножа в 3–4.

Цель данного исследования - теоретически обосновать выбор атмосферной азотистой плазмы как оптимальной среды нагрева при диффузионном борировании куттерных ножей. Для увеличения твёрдости куттерных ножей необходимо провести операции по упрочнению. Рассмотрим наиболее подходящие технологии.

1) Плазменное напыление обеспечивает твёрдость покрытия 1200–1900 HV при нагреве до 150–300 °C, что исключает коробление тонкостенного ножа (толщина 2,5 мм). Прочность сцепления упрочнённого покрытия на стали не превышает 30–40 МПа, тогда как для работы в условиях абразивного и усталостного износов требуется ≥ 60 МПа. Кроме того, слоистая покрытия содержит поры (5–15 % по объёму), что создаёт каналы для проникновения агрессивных коррозионных сред.

2) Электроискровое легирование (ЭИЛ) обеспечивает высокую твёрдость легированного слоя 1600–2000 HV, однако производительность составляет 0,3–0,8 см²/мин, что приводит к увеличению длительности процесса упрочнения и снижению его экономической эффективности. Кроме того, толщина легированного слоя не превышает 20–25 мкм, что недостаточно для обеспечения необходимого упрочнённого слоя.

3) Химико-термическая обработка (ХТО), в частности борирование, создаёт упрочнённый слой за счёт диффузии атомов бора в кристаллическую решётку железа, что приводит к исключению отслоения при ударных и вибрационных нагрузках. Боридный слой обеспечивает: твёрдость 1400–1800 HV; глубину слоя 30–70 мкм; прочность сцепления ≥ 80 МПа; полное отсутствие пористости

Экспериментальные данные показывают, что удельный съём металла с упрочнённым данным методом режущей кромки составляет 0,35–0,45 г/т, что в 3,5–4 раза ниже, чем у стандартных ножей (1,7–2,0 г/т). Таким образом, диффузионное борирование является предпочтительным методом упрочнения куттерных ножей, удовлетворяющим необходимым требованиям.

Однако традиционный нагрев детали в печах в течение 4–6 часов не допустим, так как для тонкостенных ножей данный режим приведёт к короблению, а отпуск основного металла приведёт к росту остаточных напряжений. Следовательно, для борирования необходим метод локального нагрева, исключающий нагрев всей детали целиком.

Среди альтернативных способов нагрева существуют индукционный (ТВЧ) и лазерный методы. ТВЧ требует изготовления индивидуальных индукторов под каждую геометрию ножа, однако данный метод позволяет достичь оптимальной температуры (900–950 °C) и поддерживать её. Лазерный нагрев, несмотря на его точность и локальный характер воздействия, требует дорогого оборудования, а также постоянного контроля скорости нагрева из-за риска перегреть или прожечь упрочняемую деталь. Вследствие чего атмосферный плазменный нагрев позволяет достичь баланса технологических и экономических показателей.

Плазменная дуга обеспечивает скорость нагрева 400–450 °C/мин, достигая рабочей температуры за 1,5–2 мин, а факел плазмы (диаметр 8–12 мм) позволяет локально воздействовать исключительно на режущую кромку, сохраняя основной массив ножа при температуре ниже 150 °C. Работа при атмосферном давлении исключает необходимость вакуумных камер, снижая капитальные затраты на 60–70 %.

Также при генерации плазмы возможно использование различных газов (азот, аргон, а также сжатый воздух), например использование азота участвует в термодинамике процесса и предотвращает окисление поверхности. Частицы азота формируют тонкий нитридный подслой γ'-Fe_4 N, который снижает энергию активации диффузии бора на 18–22 %, ускоряет образование упрочнённого покрытия и уменьшает образование хрупкой фазы FeB.

Ключевым фактором, определяющим эффективность процесса борирования, является выбор газовой среды для плазменного нагрева. Рассмотрим четыре основных варианта: азот (N_2), аргон (Ar) и сжатый воздух.

Таблица 1 Сравнительная характеристика газовых сред для плазменного борирования куттерных ножей из стали 40Х13

Параметр	Азот (N_2)	Аргон (Ar)	Сжатый воздух
Коэффициент роста слоя, мкм/√мин	18,2 ± 0,9	15,8 ± 1,0	12,5 ± 1,2
Энергия активации диффузии, кДж/моль	136 ± 5	165 ± 6	178 ± 8
Доля хрупкой фазы FeB, %	8 ± 3	22 ± 4	35 ± 5
Адгезия покрытия, МПа	720 ± 50	580 ± 40	420 ± 30

Азот (N_2) в плазменной среде выполняет двойственную функцию. Он обеспечивает защиту от окисления поверхности при температурах 900–950 °C и участвует в химико-термическом процессе: возбуждённые частицы азота (N*, N_2^+) формируют на поверхности стали тонкий нитридный слой γ'-фазы (Fe_4 N) толщиной 3–8 мкм.

Данный слой участвует в ускорении диффузии бора, атомы азота внедряясь в решётку железа, генерируют дополнительные вакансии, для ускоренной диффузии бора;

Наличие азота снижает энергию активации диффузии бора на 18–22 % по сравнению с борированием в инертной среде (аргон): с 165 ± 6 кДж/моль до 136 ± 5 кДж/моль. Это приводит к увеличению коэффициента роста боридного слоя с 15,8 ± 1,0 мкм/√мин (в аргоне) до 18,2 ± 0,9 мкм/√мин (в азоте), что повышает производительность процесса на 15–16 %. Также, нитридный слой подавляет образование хрупкой фазы FeB: доля образования FeB при нагреве азотистой плазмой составляет 8 ± 3 % против 22 ± 4 % в аргоне и 35 ± 5 % в воздушной среде.

Применение атмосферной азотистой плазмы в сочетании с борирующей пастой позволяет отказаться от вакуумного оборудования, что снижает капитальные затраты на 60–70 % по сравнению с вакуумным плазменным борированием.

Стоимость азота (99,99 %) составляет ~150–200 руб./час при расходе 10 л/мин, тогда как аргон той же чистоты обходится в 600–800 руб./час. Для получения боридного слоя толщиной 55–65 мкм при температуре 900 °C время выдержки в азотистой среде составляет 10–14 минут, что в 20–30 раз меньше по сравнению с печным борированием (4–6 часов).

После завершения процесса борирования при температуре 900–950 °C все компоненты борирующей пасты (NaF, NH_4 Cl, жидкое стекло) полностью разлагаются, испаряются и удаляются после мойки детали. На поверхности ножа остаётся только химически инертный борид железа (Fe_2 B), который не реагирует с белками, жирами и органическими кислотами мясного сырья.

В азотистой среде энергия активации снижается до Q = 136 ± 5 кДж/моль (на 18–22 % ниже, чем в аргоне), что обусловлено формированием нитридного подслоя γ'-Fe_4 N, генерирующего дополнительные вакансии и дислокации в приповерхностной зоне. Коэффициент роста слоя при 900 °C достигает k = 18,2 ± 0,9 мкм/$\sqrt{\text{мин}}$.

Для получения слоя толщиной 55-65 мкм, обеспечивающего оптимальный баланс износостойкости и ударной вязкостью, теоретически рассчитан режим при котором температура достигает значений 900±10 °C, время выдержки 10–14 мин. Превышение 950°C

или выдержки >15 мин нежелательно из-за роста хрупкой фазы FeB и возникновения термических деформаций.

Для визуализации кинетики процесса приведена карта толщины боридного слоя в зависимости от температуры и времени выдержки зависимости толщины слоя от времени выдержки при оптимальной температуре.

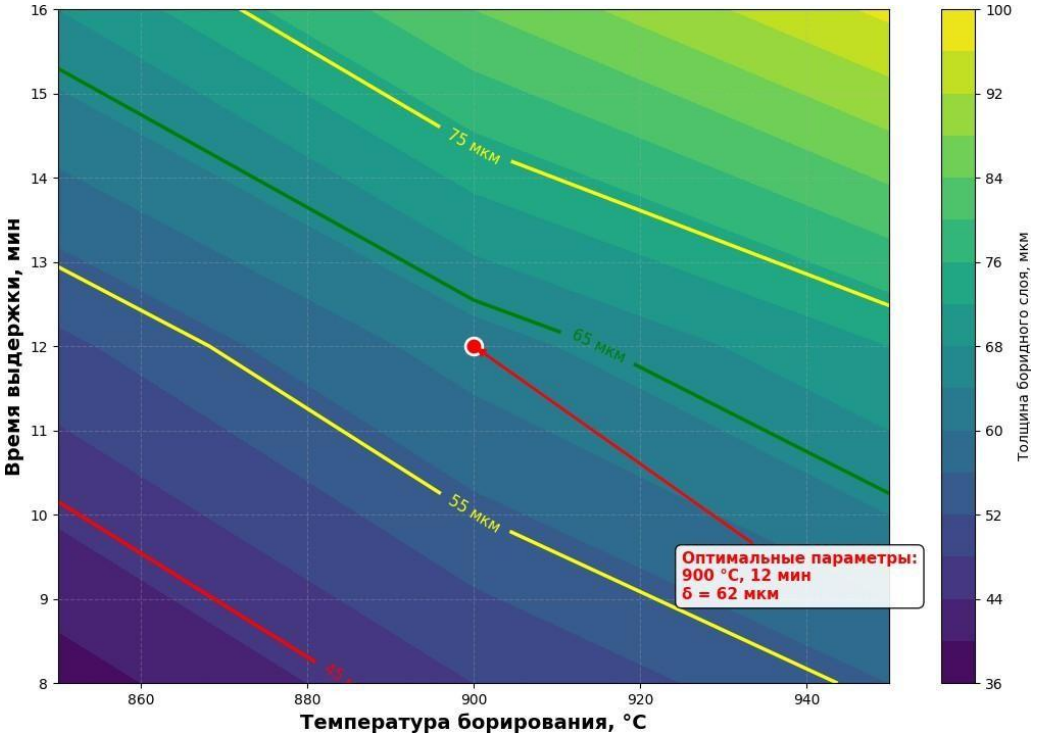


Рис. 1 - Карта толщины боридного слоя в зависимости от температуры времени

На данном этапе ведётся активная разработка и сборка экспериментальной установки для атмосферного плазменного борирования. Технологический комплекс включает:

- плазменный инвертор (ток 30–80 А, расход N_2 5–15 л/мин);
- систему подачи азота с регулятором давления;
- кронштейн-манипулятор для ручного управления

Результаты исследования показывают, что применение азотистой плазмы для диффузионного борирования куттерных ножей позволяет решить 2 задачи: защитить поверхность от окисления и снизить энергию активации диффузии бора на 18–22 % с уменьшением образование хрупкой фазы FeB. Установлено, что режим 900 ± 10 °C при выдержке 10–14 мин обеспечивает формирование боридного слоя толщиной 55–65 мкм с твёрдостью 1200–1400 HV и пористостью < 4 %. Отказ от вакуумного оборудования снижает капитальные затраты на 60–70 %, а локальный нагрев сокращает технологический цикл до 12–14 минут, повышая производительность в 20–30 раз по сравнению с печными методами.

Библиографический список

1. Ерохин М.Н., Казанцев С.П. Диффузионные покрытия в ремонтном производстве. — М.: Изд-во МГАУ, 2006. — 248 с.
2. Казанцев С.П. Новая технология получения комбинированных диффузионных покрытий // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2003. — № 7. — С. 30–32.
3. Казанцев С.П. Разработка комбинированной технологии получения железо-боридных покрытий при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственной техники : дис. … д-ра техн. наук / Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. — Москва, 2006. — 352 с.
4. Левашов Е.А., Блантер М.С., Логвиненко А.В. Плазменные методы упрочнения поверхностей металлических материалов. — М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2010. — 384 с.

5. Федотов Я.М., Штейнберг Г.Я. Борирование сталей и сплавов. — М.: Машиностроение, 1987. — 256 с.

УДК 620

КОРРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

Ветрова Софья Михайловна, *доцент кафедры материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, s.vetrova@rgau-msha.ru*

Аннотация: Проведена оптимизация состава для очистки рубашки охлаждения двигателя внутреннего сгорания, от продуктов коррозии и отложений, состоящего из бензотриазола, лимонной и щавелевой кислоты. Оптимизация состава осуществлялась по критерию минимума анодного тока и скорости коррозии для чего использовались два метода: потенциодинамической поляризации и потери массы.

Ключевые слова: электрохимическая коррозия, продукты коррозии, солевые отложения, состав для удаления продуктов коррозии, поляризационные измерения, скорость коррозии.

Система охлаждения ДВС состоит из двух контуров: жидкостного, заполненного промежуточным теплоносителем и воздушного. Жидкий теплоноситель в рубашке охлаждения двигателя соприкасается с соответствующими горячими поверхностями цилиндра и его головки, воспринимает от них теплоту и нагревается. Отвод тепла производится за счет циркуляции теплоносителя в радиаторе.

Основными металлами, используемыми в рубашке охлаждения, являются черные металлы и сплавы на их основе. В процессе эксплуатации ДВС на поверхности рубашки охлаждения образуются солевые отложения и продукты электрохимической коррозии, которые ухудшают теплоотвод и засоряют каналы системы охлаждения [1-9].

Материалы и методы

Сталь Ст3 по ГОСТ 380-2005, химический состав (мас. %): C (0,14-0,22), Mn (0,4–0,65), Ni (≤0,3), S (≤0,05), P (≤0,04), Cr (≤0,3), N (≤0,08), Cu (≤0,3).

Лимонная кислота моногидрат (Sigma-Aldrich, ≥99,5 %). Щавелевая кислота дигидрат (Sigma-Aldrich, ≥99,5 %). Бензотриазол (BTA, Sigma-Aldrich, ≥98 %).

Потенциодинамическую поляризацию проводили на электрохимической установке Autolab Metrohm PGSTAT302N в трёхэлектродной ячейке.

Результаты электрохимических испытаний коррозии стали Ст3 в различных растворах представлены на рис. 1.

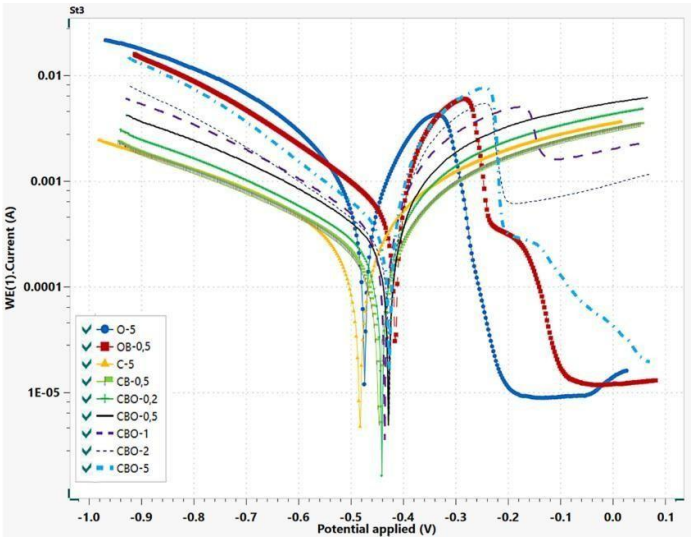


Рисунок 1 – Тафелевы кривые стали Ст3 в исследуемых растворах

На основе анализа электрохимических данных можно заключить:

Для стали Ст3 лимонная кислота в образце СВ-5 расширяет область активного анодного растворения за счёт комплексообразования с Fe(II/III), напротив, щавелевая кислота при концентрации порядка 1 % в присутствии ВТА способствует формированию устойчивой полупассивирующей плёнки железа оксалата.

Для оценки влияния оксалата на коррозионный процесс были использованы пять составов: СВ-0,5; ОВ-0,5; СВО-0,5; СВО-1; СВО-2. Анализ результатов коррозионных испытаний методом потери массы показал, что минимальная скорость коррозии наблюдается в растворе СВО-1: 2,19 г/(м²·сут), далее следуют СВО-2 = 2,44 г/(м²·сут), ОВ-0,5 = 3,57 г/(м²·сут), СВО-0,5 = 4,11 г/(м²·сут), тогда как СВ-0,5 демонстрирует значительно более высокую скорость – 28,55 г/(м²·сут). Эти результаты согласуются с поляризационными данными: в растворе СВ-5 (5 %-ная лимонная кислота + ВТА, без оксалата) анодная ветвь характеризуется высокой активностью без пассивной области, что обусловлено комплексообразованием Fe(III)/Fe(II)-цитратов и снижением активности ионов железа у поверхности. При добавлении щавелевой кислоты основным механизмом становится образование малорастворимого $FeC_2\ O_4\ \cdot 2H_2\ O$, формирующего защитный слой на поверхности. После испытаний поверхности образцов, контактировавших с растворами ОВ-0,5, СВО-0,5, СВО-1 и СВО-2, приобретают равномерный чёрный цвет, характерный для оксалатной плёнки; при СВО-1 оксалатная плёнка в сочетании с адсорбцией ВТА обеспечивает оптимальное «запечатывание» дефектов (2,19 г/(м²·сут)); при СВО-2 плёнка становится менее устойчивой при анодной поляризации, и скорость коррозии слегка увеличивается (2,44 г/(м²·сут)). В растворе ОВ-0,5 оксалат присутствует, но отсутствие лимонной кислоты как
«регулятора» поверхности приводит к меньшей однородности плёнки. В целом лимонная кислота играет роль «растворяющего» лиганда, тогда как щавелевая кислота - лиганда, способного образовывать малорастворимую фазу на поверхности, оптимум для стали Ст3 достигается при СВО-1.

Библиографический список

1. Барчукова, А. С. Исследование скорости коррозии стали Ст3 в среде минеральных удобрений / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова, Е. М. Илюшкова // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 6(66). – DOI 10.51419/202146605. – EDN INBHSS.
2. Исследование эффективности амидов жирных кислот в качестве ингибиторов атмосферной коррозии / С. М. Гайдар, А. М. Пикина, А. С. Барчукова [и др.] // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 10-15. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-10-15. – EDN DNGYMW.
3. Антикоррозийные свойства удобрения БОРАМ и его влияние на урожайность картофеля / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова, О. М. Лапсарь, А. М. Пикина // Агроинженерия. – 2025. – Т. 27, № 4. – С. 61-67. – DOI 10.26897/2687-1149-2025-4-61-67. – EDN DFRBOP.
4. Гайдар, С. М. Влияние легирующих элементов и термической обработки на механические свойства низколегированных сталей / С. М. Гайдар, С. М. Ветрова, А. С. Барчукова // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 9. – С. 11-15. – DOI 10.31044/1684-2561-2023-0-9-11-15. – EDN OTJNAW.
5. Патент № 2553001 C1 Российская Федерация, МПК C10M 101/02, C10M 121/04, C10M 123/06. Консервационная консистентная смазка : № 2014115955/04 : заявл. 22.04.2014 : опубл. 10.06.2015 / С. М. Гайдар, А. Л. Дмитриевский, Д. И. Петровский, Е. А. Петровская ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN IDIFUG.
6. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники / А. Э. Северный, Е. А. Пучин, В. Е. Рязанов [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2009. – 160 с. – EDN

YMLTGH.

7. Tempering Behavior of Novel Low-Alloy High-Strength Steel / V. Dudko, D. Yuzbekova, S. Gaidar [et al.] // Metals. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2177. – DOI 10.3390/met12122177. – EDN MWUOTL.
8. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде / М. Н. Ерохин, С. М. Гайдар, Д. М. Скороходов [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 72-78. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-3-72-78. – EDN QVBHFB.
9. Пикина, А. М. Повышение долговечности тонколистовых конструкций, разъемных и неразъемных соединений сельскохозяйственной техники в условиях эксплуатации : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пикина Анна Михайловна. – Москва, 2022. – 176 с. – EDN EFAMXB.

УДК 631.22.01

СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

Прокофьев Михаил Михайлович, *аспирант 2 курса института механики и энергетики им. В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, imaickprof@mail.ru*
*Научный руководитель**: Игнаткин Иван Юрьевич**, д.т.н., доцент, профессор кафедры сопротивление материалов и детали машин, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, ignatkin@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Для обеспечения нормативных параметров микроклимата и корректного функционирования свиноводческого предприятия необходимо поддержание заданных климатических условий. В качестве наиболее перспективного технического решения рассматриваются системы охлаждения воздуха водоиспарительного (адиабатического) типа с орошаемыми поверхностями. Наряду с температурным режимом критически важным аспектом является обеззараживание приточного воздуха, используемого для охлаждения. Данная мера позволяет существенно снизить иммуногенную нагрузку на организм животных и минимизировать риск распространения патогенов.*

Ключевые слова: *дезинфекция, карантинные зоны, орошаемые поверхности, охлаждение воздуха, свиноводство.*

Функционирование свиноводческого комплекса находится в критической зависимости от параметров микроклимата, которые оказывают существенное влияние на продуктивность животных. Отклонение от заданных нормативных показателей приводит к возрастанию теплового стресса и снижению иммунного статуса поголовья, что, в свою очередь, влечёт уменьшение среднесуточных привесов и повышает восприимчивость организма к патогенным микроорганизмам [1-3].

Для решения указанных задач в свиноводстве применяется метод водоиспарительного (адиабатического) охлаждения воздуха с использованием орошаемых поверхностей. Данный способ демонстрирует максимальную эффективность в снижении температуры воздуха в помещении по сравнению с альтернативными решениями. В целях профилактики инфекционных заболеваний животных необходимой мерой является разработка системы дезинфекции, интегрированной с процессом охлаждения воздуха. Такое комплексное решение позволит значительно снизить иммуногенную нагрузку на организм животных [4-6].

Для комплексного решения задач поддержания микроклимата и обеззараживания воздуха предлагается конструкция, объединяющая водоиспарительную систему охлаждения с модулем дезинфекции (рисунок 1).

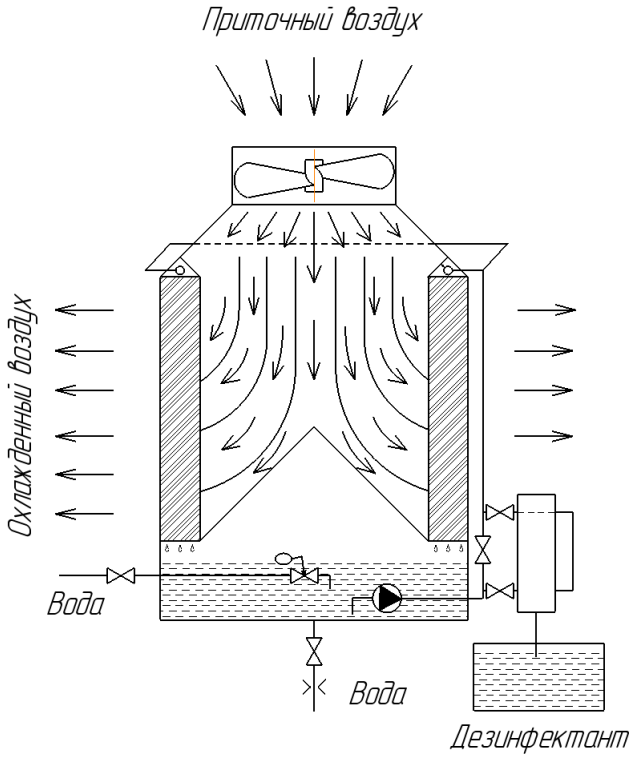


Рисунок 1. Схема способа охлаждения и очистки вентиляционного воздуха

Установка функционирует следующим образом. Посредством вентилятора в корпус охладителя нагнетается воздух, который с помощью дефлекторов направляется на орошаемые поверхности. При прохождении через водоиспарительные кассеты происходит охлаждение воздушного потока. Орошение поверхности обеспечивается насосом, размещённым в баке установки. Подача воды в бак осуществляется через трубопровод, соединённый с водной магистралью системы водоснабжения. При отключении функции дезинфекции утилизация отработанной воды производится посредством отводящего водопровода с заданным коэффициентом сброса рабочей жидкости относительно объёма поступающей воды. Для реализации функции обеззараживания охладитель оснащён дозатором жидких химических реагентов, позволяющим приготовить дезинфицирующий раствор в требуемой концентрации. Функции охлаждения и дезинфекции приточного воздуха совмещены, при этом предусмотрена возможность работы установки в режиме охлаждения без применения дезинфекции.

Предложенное техническое решение позволяет комплексно решить задачу поддержания требуемых параметров микроклимата и осуществления дезинфекции воздушной среды в свиноводческом помещении. Кроме того, установка обеспечивает возможность локализации распространения патогенных микроорганизмов путем создания локальных карантинных зон, что способствует снижению уровня падежа поголовья на предприятии.

Библиографический список

1. Самарин, Г. Н. Энергосберегающая технология формирования микроклимата в животноводческих помещениях: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Самарин Геннадий Николаевич. – Москва, 2009. – 442 с.

2. Тихомиров, Д. А. Энергосберегающие электрические системы и технические средства теплообеспечения основных технологических процессов в животноводстве: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Тихомиров Дмитрий Анатольевич. – Москва, 2015. – 342 с.

3. Путан, А. А. Сравнение перспективных систем охлаждения для животноводства / А. А. Путан // Доклады ТСХА, Москва, 06–08 декабря 2018 года. Том Выпуск 291, Часть V. – Москва: Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева", 2019. – С. 292-297.
4. Гулевский, В. А. О возможностях водоиспарительного охлаждения в свиноводческих помещениях / В. А. Гулевский, А. А. Рязанцев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2017. – № 1(16). – С. 145-152.
5. Кирсанов, В. В. Энергосбережение при обеспечении микроклимата в свиноводстве / В. В. Кирсанов, И. Ю. Игнаткин. – Москва : Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2020. – 178 с. – ISBN 978-5-6044138-6-9
6. Шацкий, В. П. К вопросу о работе водоиспарительных охладителей / В. П. Шацкий, Ж. В. Высоцкая, В. А. Гулевский // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3(11). – С. 95-99.

УДК 620

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕДЬ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

***Пикина Анна Михайловна**, доцент кафедры материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, barchukova@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Выполнена оптимизация состава для очистки рубашки охлаждения двигателя внутреннего сгорания от коррозионных продуктов и отложений. В состав входят бензотриазол, лимонная и щавелевая кислоты. Оптимизация проводилась с целью минимизировать анодный ток и скорость коррозии.*

***Ключевые слова:** электрохимическая коррозия, продукты коррозии, солевые отложения, состав для удаления продуктов коррозии, оляризационные измерения, скорость коррозии.*

Система охлаждения (СО) двигателя внутреннего сгорания предназначена для поддержания требуемой рабочей температуры. Перегрев двигателя приводит к потере подвижности деталей, короблению и разрушению клапанов и головок цилиндров, выплавлению вкладышей подшипников, образованию нагара и лака на поверхностях деталей цилиндропоршневой группы, заклиниванию подвижных сопряжений, детонации, повышенному износу и т.д.

Поэтому очистка и промывка СО ДВС при техническом обслуживании является необходимой операцией.

Для очистки СО широкое применение получили химические составы, прокачиваемые насосом, для удаления отложений и продуктов электрохимической коррозии.

Материалы и методы.

Медь М-1 (ГОСТ 859-2001), химический состав (мас. %): Cu (≥99,9), Fe (≤0,05), Ni (≤0,02), S (≤0,004), Pb (≤0,005), O (≤0,05).

Лимонная кислота моногидрат (Sigma-Aldrich, ≥99,5 %). Щавелевая кислота дигидрат (Sigma-Aldrich, ≥99,5 %). Бензотриазол (BTA, Sigma-Aldrich, ≥98 %).

Металлические образцы размером 50×50×3 мм перед испытаниями последовательно шлифовали абразивной бумагой от грубой P160 до мелкой P800, промывали дистиллированной водой, этанолом и ацетоном, высушивали, после чего монтировали в качестве рабочего электрода и помещали в электрохимическую ячейку с исследуемым раствором [1-9].

Медь М-1: Результаты электрохимических испытаний коррозии меди М-1 в различных растворах приведены на рис. 1.

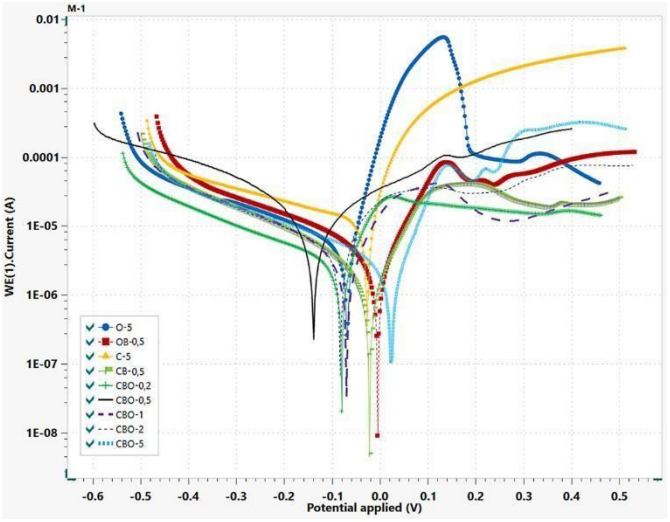


Рисунок 1. Тафелевы кривые меди М-1 в исследуемых растворах

Электрохимические данные показывают, что при содержании оксалата порядка ~1–2 % приповерхностная область меди близка к локальному насыщению по системе Cu^{2+} – $C_2O_4^{2-}$, формируется достаточно непрерывная и устойчивая оксалатно-оксидная плёнка, способная надёжно “якорить” адсорбированные комплексы Cu(I)-BTA; в этих условиях анодное растворение уже не контролируется цитратным комплексообразованием. При увеличении содержания щавелевой кислоты свыше ~2 % доминирует растворяющее комплексообразование; оксалатная плёнка становится рыхлой, пористой и легко разрушается при смещении потенциала в положительную область, что приводит к росту анодной плотности тока. Для задачи контролируемого удаления отложений в охлаждающих системах, содержащих медь, оптимальным представляется диапазон составов, близкий к СВО-0,2/1/2. После очистки необходимо провести нейтрализацию, вернуть раствор в рабочий диапазон pH и поддерживать достаточную концентрацию BTA для сохранения защитной плёнки на меди, ограничивая дальнейшее растворение и риск вторичного осаждения Cu на сталь.

Библиографический список

1. Барчукова, А. С. Исследование скорости коррозии стали Ст3 в среде минеральных удобрений / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова, Е. М. Илюшкова // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 6(66). – DOI 10.51419/202146605. – EDN INBHSS.

2. Исследование эффективности амидов жирных кислот в качестве ингибиторов атмосферной коррозии / С. М. Гайдар, А. М. Пикина, А. С. Барчукова [и др.] // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 10-15. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-10-15. – EDN DNGYMW.

3. Антикоррозийные свойства удобрения БОРАМ и его влияние на урожайность картофеля / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова, О. М. Лапсарь, А. М. Пикина // Агроинженерия. – 2025. – Т. 27, № 4. – С. 61-67. – DOI 10.26897/2687-1149-2025-4-61-67. – EDN DFRBOP.

4. Гайдар, С. М. Влияние легирующих элементов и термической обработки на механические свойства низколегированных сталей / С. М. Гайдар, С. М. Ветрова, А. С. Барчукова // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 9. – С. 11-15. – DOI 10.31044/1684-2561-2023-0-9-11-15. – EDN OTJNAW.

5. Патент № 2553001 C1 Российская Федерация, МПК C10M 101/02, C10M 121/04, C10M 123/06. Консервационная консистентная смазка : № 2014115955/04 : заявл. 22.04.2014 : опубл. 10.06.2015 / С. М. Гайдар, А. Л. Дмитриевский, Д. И. Петровский, Е. А. Петровская ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский государственный аграрный университет-МСХА

имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN IDIFUG.

6. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники / А. Э. Северный, Е. А. Пучин, В. Е. Рязанов [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2009. – 160 с. – EDN YMLTGH.

7. Tempering Behavior of Novel Low-Alloy High-Strength Steel / V. Dudko, D. Yuzbekova, S. Gaidar [et al.] // Metals. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2177. – DOI 10.3390/met12122177. – EDN MWUOTL.

8. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде / М. Н. Ерохин, С. М. Гайдар, Д. М. Скороходов [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 72-78. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-3-72-78. – EDN QVBHFB.

9. Пикина, А. М. Повышение долговечности тонколистовых конструкций, разъемных и неразъемных соединений сельскохозяйственной техники в условиях эксплуатации : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пикина Анна Михайловна. – Москва, 2022. – 176 с. – EDN EFAMXB.

УДК 621.9.02

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Серов Никита Вячеславович *– к.т.н., доцент кафедры сопротивление материалов и деталей машин, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, n.serov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В представленной работе описана перспективность применения в качестве присадочных материалов отходов машиностроения. Применения металлических отходов для восстановления и упрочнения деталей машин сильно снизит экономические издержки как при производстве новых деталей и рабочих органов, так и при восстановлении ресурсов изношенных деталей.*

Ключевые слова: *упрочнение, восстановление, отходы, машиностроение, электроконтактная приварка (сварка).*

Введение. Современное машиностроение сталкивается с двойным вызовом: с одной стороны необходимость повышения износостойкости и ресурса работы техники в условиях интенсивной эксплуатации, с другой стоит острая проблема утилизации растущего объема производственных отходов. Традиционная парадигма, при которой отходы рассматривались исключительно как бремя для экологии, уходит в прошлое. Сегодня на передний план выходят технологии, объединяющие процессы рециклинга с операциями восстановления и упрочнения деталей машин. Такой подход не только решает экологические задачи, но и открывает новые возможности для повышения надежности техники без значительного удорожания производства.

Материалы и методы. Сравнительный анализ проведён по открытым данным, спецификациям и экспертным оценкам.

Результаты. Ключевым условием эффективного вовлечения отходов в технологические процессы упрочнения является их системная классификация. Техногенные отходы машиностроительных и металлургических производств подразделяются на несколько категорий, каждая из которых находит свое применение в восстановительных технологиях.

Наиболее перспективной группой являются дисперсные металлические отходы такие как стружка, пыль, окалина, а также некондиционная дробь. Эти материалы после соответствующей подготовки (магнитная сепарация, промывка, термическая сушка) могут быть преобразованы в функциональные порошки с контролируемыми характеристиками. Особого внимания заслуживают отходы производства дроби частицы которых размером менее 1 мм, которые традиционно не использовались для дробеструйной обработки, но обладают уникальным комплексом свойств для последующего применения в упрочняющих технологиях.

Одним из наиболее эффективных методов утилизации отходов с одновременным упрочнением деталей является электроконтактная приварка (ЭКП). Суть метода заключается в использовании отходов инструментального производства в качестве присадочного материала для формирования износостойких покрытий. Принципиальное преимущество технологии являеться отсутствие расплавления основного металла детали, что исключает термические деформации и сохраняет геометрическую точность изделия [1].

Результаты промышленных испытаний демонстрируют впечатляющие показатели: упрочнение плоских поверхностей рабочих органов сельскохозяйственной техники методом электроконтактной сварки отходов инструментальной стали позволяет увеличить срок их службы от 1,8 до 2,0 раз по сравнению с новыми серийными рабочими органами. Экономический эффект достигается за счет того, что в качестве упрочняющего материала используется то, что ранее считалось отходом и требовало затрат на утилизацию.

Для создания функциональных покрытий нового поколения все более широкое распространение получает метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) токопроводящих отходов. Технология основана на разрушении металлического материала под действием импульсных электрических разрядов в жидкой среде. Продуктом переработки являются микронные и субмикронные порошки с высокой химической активностью и уникальной морфологией частиц [2].

Полученные таким способом порошки используются для нанесения покрытий методами:

- газотермического напыления;
- лазерной наплавки;
- ионно-плазменного осаждения.

Отсутствие длительной технологической цепочки подготовки сырья и возможность получения частиц заданного фракционного состава делают ЭЭД экономически привлекательным для предприятий, располагающих собственной отходной металлообработкой.

Значительный интерес представляет технология получения самофлюсующихся диффузионно-легированных бором порошков из отходов производства стальной и чугунной литой дроби. В отличие от традиционных методов получения объемно-легированных порошков распылением, предложенная технология позволяет:

- сократить производственный цикл за счет исключения операций очистки от СОЖ и размола;
- снизить энергетические затраты благодаря меньшему количеству переделов;
- регулировать содержание боридной фазы в готовом продукте от доэвтектической до заэвтектической структуры.

Ферромагнитные свойства получаемых порошков открывают возможность их использования в технологиях магнитно-электрического упрочнения. В зависимости от содержания бора (масс.%) в наносимом покрытии формируются микродисперсные включения

боридов железа, повышающие износостойкость от 2 до 3,5 раза по сравнению с неупрочненной поверхностью [3].

Номенклатура деталей, эффективно упрочняемых данным методом, включает:

- лемеха плугов;
- ножи кормозаготовительных машин;
- рабочие органы дорожно-строительной техники;
- детали горно-обогатительного оборудования.

Альтернативное направление — создание литых композиционных материалов (ЛКМ) на основе отходов медных сплавов (бронзы, латуни). В отличие от дорогих традиционных наполнителей, стружка бронзы БрО5Ц5С5 после магнитной сепарации, промывки и сушки становится дешёвым упрочнителем алюминиевых матриц. Термообработка при 500°С обеспечивает стабильность композита с эвтектической матрицей, сохраняющую упрочняющие свойства при рабочих температурах. Температура плавления матрицы — 509°С [4, 5].

Порошки из отходов дроби применяются также в магнитно-абразивной финишной обработке. Сферическая и осколочная форма частиц (дисперсность 50–640 мкм) позволяет проводить обработку от шлифования до полирования, что важно для восстановления деталей перед нанесением покрытий.

Широкому внедрению мешают: отсутствие сортировки отходов по маркам, дефицит оборудования для электроэрозионного диспергирования и электроконтактной сварки (особенно на малых предприятиях), а также устаревшая нормативная база, считающая отходы объектами захоронения, а не ресурсами. Требуется корректировка инженерного образования — подготовка специалистов в области ресурсосбережения, аддитивных технологий и рециклинга металлов [6].

Выводы.

Применение отходов машиностроения для повышения ресурса деталей машин является перспективным направлением циркулярной экономики. Опыт российских и зарубежных учёных показывает, что технологии электроэрозионного диспергирования, электроконтактной сварки и получения самофлюсующихся порошков позволяют утилизировать техногенные отходы и увеличить износостойкость деталей в 1,8–3,5 раза. Дальнейшее развитие требует взаимодействия материаловедов, технологов и экологов, а также создания на предприятиях участков по переработке отходов в упрочняющие составы. Это экономически выгодно: затраты на утилизацию превращаются в добавленную стоимость, снижается зависимость от импорта.

Библиографический список

1. Утилизация отходов машиностроения и металлургии при упрочнении и восстановлении деталей машин. Часть 1 / Р. А. Латыпов, А. В. Серов, Н. В. Серов, И. Ю. Игнаткин // Металлург. – 2021. – № 5. – С. 81-87. – DOI 10.52351/00260827_2021_05_81. – EDN ACDWRG.

2. Серов, Н. В. Утилизация как метод упрочнения рабочих органов машин / Н. В. Серов, А. В. Серов // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева : Сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 566-570. – EDN SYYRUQ.

3. Липаев, А. А. О роли машиностроения в создании техносферы и проблемах управления его отходами / А. А. Липаев // Управление техносферой. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 389-402. – DOI 10.34828/UdSU.2021.23.42.005. – EDN JGWDXL.

4. Затуловский А.С., Щерецкий В.А., Лакеев В.А. Стабильность матрицы АК7 при её упрочнении продуктами рециклинга бронзы БрО5Ц5С5 // Новые материалы и технологии в машиностроении. — 2016. — № 6. — С. 60–61.

5. Utilization of the Wastes of Mechanical Engineering and Metallurgy in the Process of Hardening and Restoration of Machine Parts. Part 2 / R. A. Latypov, A. V. Serov, I. Y. Ignatkin, N. V. Serov // Metallurgist. – 2021. – Vol. 65, No. 5-6. – P. 689-695. – DOI 10.1007/s11015-021-01206-w. – EDN OGPEVH.

6. Пантелеенко Ф.И., Пантелеенко Е.Ф., Петришин Г.В. Новые материалы из металлических отходов для технологий восстановления, упрочнения и финишной обработки // Молодой ученый. — БНТУ, ГГУ им. П.О. Сухого. — С. 32–35.

УДК 621.7

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОКРЫТИЙ

Логачёв Константин Михайлович *– к.т.н., доцент кафедры сопротивление материалов и деталей машин, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, klogachyov@mail.ru*
Казанцев Сергей Павлович *– д.т.н., профессор, заведующий кафедрой сопротивление материалов и деталей машин, kspts@bk.ru*

Аннотация: *Рассмотрены технико-экономические параметры существующих отечественных и зарубежных CVD/PVD-установок для формирования защитных и упрочняющих покрытий на поверхностях сложной геометрии. На основе сравнительного анализа определены минимальные базовые технические и эксплуатационные характеристики экспериментальной установки комбинированного типа.*

Ключевые слова: *экспериментальная установка, CVD/PVD-осаждение, наноструктурированные покрытия, карбид хрома, восстановление деталей.*

Введение. В развитие исследований [1] на кафедре ИМЭ им. В.П. Горячкина создаётся установка, объединяющая CVD, PVD и осаждение DLC-покрытий [2]. По программе «Умник 2022» подтверждена управляемость реакций твёрдых фаз. Цель – анализ рыночных решений РФ для покрытий на основе тугоплавких металлов. Задача – определение параметров опытного образца: точность, производительность, адаптация к сложной геометрии, стоимость.

Материалы и методы. Сравнительный анализ проведён по открытым данным, спецификациям и экспертным оценкам. Выбраны четыре установки из разных сегментов рынка. Критерии: технические (давление, температура, скорость осаждения, точность), эксплуатационные (автоматизация, квалификация, обслуживание, адаптация) и экономические (стоимость оборудования, ввод в эксплуатацию, расход материалов). Базовые параметры целевой установки рассчитаны на основе экспериментальных данных проекта «Умник 2022», патента РФ № 2836439 C1 [3] и отраслевых требований. Значения, требующие верификации, отмечены в таблице.

Результаты. Проведённый анализ (таблица 1) показал, что большинство серийных отечественных и импортных установок ориентированы на узкоспециализированные задачи (либо CVD, либо PVD, либо преимущественно DLC), что ограничивает их применение в гибких производственных и ремонтных процессах. Создаваемый экспериментальный образец проектируется как гибридная система, способная реализовывать несколько режимов осаждения в едином технологическом цикле без перемещения подложки.

Таблица 1

Сравнительная характеристика по количественным, качественным и стоимостным параметрам существующих решений и создаваемого продукта.

Параметр	**Easy Tube**	**Samco**	**VSE_ PECVD_100**	**Dongguan Jinyuyang**	**Создаваемый продукт (*экспериментальный образец*)**
Страна производитель	США	Япония	Россия	Китай	Россия
Компания производитель	Easy Tube Technologies	Samco Inc,	ЭПОС–ИНЖИРИНГ	Dongguan Jinyuyang Vacuum	Новая организация
Реализуемые технологии в установке	PVD, PECVD, DLC	PVD, DLC	PECVD, DLC	DLC, PVD	CVD/ PVD/ PLD/ X–ray, **Syn–CVD**
Типоразмерный ряд продукта, да/нет	Да	Нет	Нет	Да	Да (***модульная конфигурация***)
Макс. напряжение, В	2 000	2 000	1 200	1 500	**100 000**
Скорость нанесения, нм/мин	15–180	До 220	До 100	До 150	1–500 (***до 150***)
Максимальная температура нагрева подложки, °С	500	500	600	450	500
Предельный вакуум, Па	1,00E–06	1,00E–06	1,00E–05	1,00E–05	до 1,00E–06 (***1,00E–05***)
Охлаждение	водяное	водяное	водяное	водяное	водяное/воздушное (чиллер)
Толщина покрытий, мкм	0,1 – 12	0,05 – 15	0,1 – 10	0,1 – 10	**0,01–50 (до 100 в многослойных режимах)**
Точность контроля толщины, %	±3	±2	±4	±4	±3
Время цикла, час	1–3	1–3,5	1,5–4	1,5–5	0,5–12
Мощность, кВт	5–100	10	6	5–100	0,5–100 ***(3)***
Объём камеры, л	10–600	50	до 20	30–6000	0,5–6000 (***35***)
Вес, кг	300–1400	300	400	300–3000	20–3000 (***500***)
Габариты, ДхШхВ, м	1x1x1,5 … 4x1,4x1,9	1,2x1,2x1,5	1x0,8x1,8	1x1x1,5 … 7x2x2	0,3x0,4x0,4 …6x3x3 (***2,5x0,8x2,3***)
Занимаемая площадь, м²	1–5,5	1,45	0,8	1–14	0,12–20 (***2,25***)

Параметр	Easy Tube	Samco	VSE_ PECVD_100	Dongguan Jinyuyang	Создаваемый продукт (*экспериментальный образец*)
Точность поддержания температуры, °C	±1	±0,8	±1	±1	±1
Точность поддержания давления, Па	±0,1	±0,05	±0,15	±0,2	±0,1 **
Точность поддержания расхода газов, %	±2	±1,5	±3	±3	±2 **
Расход прекурсоров на 1 см² (3 мкм), г	0,14–0,18	0,1–0,15	0,15–0,22	0,2–0,25	0,05–0,1 (**0,1 – 0,25**)
Расход газов на 1 см² (3 мкм), л	0,1–0,14	0,08–0,12	0,12–0,16	0,12–0,18	0,08–0,012 *
Расход мишеней на 1 см² (3 мкм), г	0,05–0,065	0,04–0,06	0,06–0,08	0,06–0,08	0,04–0,07 *
Время на обслуживание, час	2–3	2–4	3–4	2–5	0,5–5 ***
Материалы подложек	Металлы, керамика, стекло	Металлы, керамика	Металлы, керамика	Металлы, керамика	**Металлы, керамика, стекло, полимеры**
Способность к варьированию свойств покрытий	Очень высокая	Очень высокая	Высокая	Высокая	Очень высокая
Получение многослойных/ градиентных покрытий	Да	Да	Да	Да	Да
Адаптация к сложной геометрии	Хорошая	Хорошая	Ограниченная	Хорошая	**Высокая**
Перенастройка	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	**Автоматическая (по заданной программе)**
Потенциал для НИОКР	Высокий	Высокий	Средний	Средняя	Высокий
Уровень автоматизации	Полуавтоматический	Полуавтоматический	Полуавтоматический	Полуавтоматический	**Полный + выбор режима, самодиагностика**
Требования к квалификации оператора	Средние	Средние	Высокие	Высокие	**Базовые**
Срок эксплуатации, лет	>10	>10	7–10	7–10	>10

Параметр	**Easy Tube**	**Samco**	**VSE_ PECVD_100**	**Dongguan Jinyuyang**	**Создаваемый продукт (*экспериментальный образец*)**
Гарантийные обязательства и сервис	1 год, сервис по всему миру	1 год, сервис по всему миру	1 год, региональный сервис	1 год, региональный сервис	1 год, сервис по РФ и дружественным странам
Требования к помещению	Чистая комната, вентиляция	Чистая комната, вентиляция	Вентиляция	Вентиляция	Чистая комната, вентиляция
Безопасность для оператора	Полная защита	Полная защита	Стандартные меры	Стандартные меры	Полная защита
Энергоэффективность	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
Наличие патентов, ноу–хау	Есть	Есть	Ограничено	Ограничено	Есть
Возможность модернизации аппаратной части	Да	Да	Частичная	Частичная	Да
Возможность модернизации программной части	Да	Да	Нет	Нет	Да
Стоимость, млн. рублей	30–160	30	18	8–150	**1–100 *****
Стоимость ввода в эксплуатацию, млн. рублей	1–12	1	0,4	0,3–9	**0,1–8 *****
Стоимость обучения персонала, млн. рублей	0,5–3	0,5	0,3	0,5–3	**0,1–1 *****

Расшифровка обозначений:

* требует исследований ** требует экспериментов *** в зависимости от спецификации

Как следует из таблицы 1, создаваемая установка превосходит аналоги по ряду ключевых показателей, в частности:

1. Диапазон рабочих давлений (до $1 \cdot 10^{-6}$ Па) позволяет формировать как плотные металлические, так и алмазоподобные и карбидные покрытия с минимальным содержанием структурных дефектов.
2. Скорость осаждения (до 500 нм/мин в импульсных режимах) сокращает время цикла на 30–50% по сравнению с серийными решениями.
3. Удельный расход реакционной среды и мишеней снижен за счёт системы рециркуляции рабочего газа.
4. Уровень автоматизации (полный цикл с выбором режимов и самодиагностикой) минимизирует влияние человеческого фактора и снижает требования к квалификации оператора.

Экономический эффект обусловлен интеграцией нескольких методов осаждения в единый вакуумный контур, что исключает межоперационный перенос подложек, снижает риск загрязнения и сокращает производственный цикл, повышая технологичность процесса.

Выводы.

1. Отсутствие на российском рынке универсальных CVD/PVD/DLC-комплексов обусловило отбор четырёх репрезентативных аналогов для сравнительного анализа и формирования базовых требований к оборудованию.
2. Обоснованы технико-экономические параметры экспериментального образца, обеспечивающие его конкурентоспособность по точности контроля толщины (±3 %), диапазону рабочих температур (до 500 °C), скорости осаждения и удельному расходу материалов.
3. Интеграция разнородных процессов в едином реакторе снижает производственный цикл и технологический брак за счёт исключения межоперационного переноса деталей и полной автоматизации управления.

Библиографический список

1. Логачев, К. М. Разработка технологии восстановления распылителей форсунок автотракторных дизелей термическим разложением соединений гексакарбонила хрома : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Логачев Константин Михайлович, 2023. – 216 с. – EDN SFRTXT.
2. Казанцев, С. П. Перспективы развития технологий получения CVD/PVD покрытий на основе тугоплавких металлов и их соединений / С. П. Казанцев, К. М. Логачев // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160–летию Тимирязевской академии : Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 474–477. – EDN TNDPOC.
3. Патент № 2836439 C1 Российская Федерация, МПК C23C 28/00, B82B 1/00, C23C 14/00. Устройство для осаждения покрытий на подложку CVD и PVD способами : заявл. 15.05.2024 : опубл. 17.03.2025 / К. М. Логачев, С. П. Казанцев. – EDN VWKTXC.

УДК 631.372

ОЦЕНКА УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОПОДРЕССОРИВАНИЯ ТЯГОВОГО ГУСЕНИЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ ТРАКТОРА

***Дудин Даниил Максимович**, аспирант 3 курса института механики и энергетики им. В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, d.dudin@rgau-msha.ru*

Научный руководитель: ***Федоткин Роман Сергеевич****, к.т.н., доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, fedotkin@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В статье рассмотрена проблема оценки вибронагруженности колесного универсально-пропашного сельскохозяйственного трактора при использовании индивидуальных тяговых гусеничных модулей. Показано, что установка таких модулей изменяет не только площадь контакта движителя с опорной поверхностью, но и характер передачи колебаний от почвы на остов трактора, кабину и рабочее место оператора. Предложен подход к исследованию вибронагруженности на основе динамического моделирования в среде MATLAB Simulink Simscape и учета упруго-демпфирующих свойств элементов системы микроподрессоривания.*

Ключевые слова: *трактор, тяговый гусеничный модуль, вибронагруженность, MATLAB Simscape, микроподрессоривание, демпфирование.*

Введение. Одним из направлений повышения тягово-сцепных свойств колесного трактора и снижения давления на почву является применение индивидуальных тяговых гусеничных модулей, устанавливаемых вместо штатных колес. Такие модули позволяют увеличить площадь контакта движителя с опорной поверхностью, уменьшить буксование и повысить проходимость. Вместе с тем переход от колесного движителя к гусеничному изменяет структуру колебательной системы трактора. Поэтому оценка вибронагруженности должна рассматриваться не как второстепенная, а как самостоятельная расчетно-экспериментальная задача [1-5].

Основная часть. В тракторе на колесном ходу внешние возмущения от неровностей опорной поверхности воспринимаются преимущественно через пневматические шины. При установке тягового гусеничного модуля возмущение передается последовательно через резиноармированную гусеницу, бандажи катков, упруго-демпфирующие втулки, балансирные элементы и раму модуля. Такая схема создает условия для частичного гашения ударных воздействий до их передачи на остов трактора.

Для оценки вибронагруженности целесообразно использовать модульный принцип построения динамической модели. Сначала рассматриваются локальные узлы – втулка, каток, каретка, затем модель расширяется до уровня ходовой системы и всего трактора. Разработана динамическая модель вибронагруженности тракторв с индивидуальными для исследования локальных упруго-демпфирующих узлов, а также многомассовые модели трактора на колесном, полугусеничном и полностью гусеничном ходу.

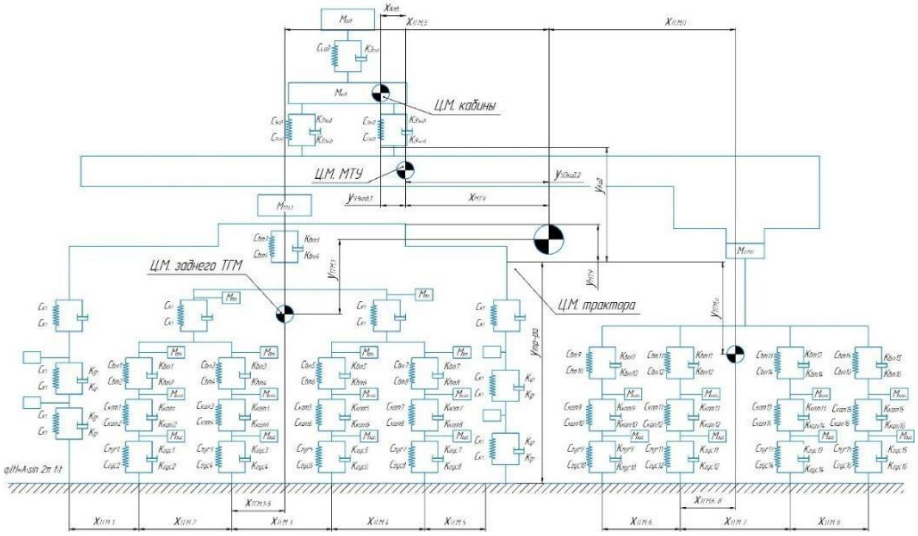


Рисунок 1. Динамическая модель вибронагруженности трактора с индивидуальными тяговыми гусеничными модулями в MATLAB Simscape.

Важным этапом исследования является оценка упруго-демпфирующих свойств втулок ТГМ. Для этого использованы данные циклического нагружения образцов из термопластичного полиуретана с различным типом внутреннего заполнения (таблица 1). Полученные характеристики позволяют задать в динамической модели жесткость и коэффициент демпфирования исследуемого узла. Установлено, что кубический тип заполнения обеспечивает наибольшую жесткость, сеточный — более выраженное демпфирование, а гироидный занимает промежуточное положение и может рассматриваться как наиболее сбалансированный вариант.

Таблица 1 – Сравнение упруго-демпфирующих характеристик по усредненным кривым

Ранг жесткости	Тип заполнения	Оценка деформации втулки при F_{max}, мм	Жесткость k, кН/мм	Энергия диссипации, E_d, Дж	Ранг демпфирования
1	Кубический тип	1,54 ± 0,02	1,89 ± 0,03	0,79 ± 0,05	5
2	Сотовый тип	1,57 ± 0,01	1,86 ± 0,01	0,72 ± 0,03	4
3	Гироидный тип	2,07 ± 0,03	1,4 ± 0,02	1,08 ± 0,08	3
4	Треугольный тип	2,94 ± 0,11	0,99 ± 0,04	1,61 ± 0,18	2
5	Сеточный тип	2,98 ± 0,08	0,97 ± 0,03	1,6 ± 0,11	1

Полученные значения жесткости и энергии диссипации могут быть использованы в качестве исходных параметров для динамической модели вибронагруженности трактора в MATLAB Simscape. Это позволяет учитывать реальные упруго-демпфирующие свойства элементов микроподрессоривания ТГМ при расчетной оценке колебательного процесса.

Вывод. Для оценки вибронагруженности трактора с индивидуальными тяговыми гусеничными модулями целесообразно использовать модульный принцип построения динамической модели, позволяющий переходить от локальных узлов микроподрессоривания к общей расчетной схеме трактора.

Установлено, что тип внутреннего заполнения упруго-демпфирующей втулки существенно влияет на ее жесткость, деформируемость и энергию диссипации. Кубический и сотовый типы обладают наибольшей жесткостью, сеточный и треугольный – большей демпфирующей способностью, а гироидный занимает промежуточное положение.

Полученные значения жесткости и энергии диссипации могут использоваться как исходные параметры при моделировании вибронагруженности в MATLAB Simscape, что повышает достоверность расчетной оценки.

Библиографический список

1. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – Москва : ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с. – ISBN 978-5-6049928-2-1.

2. Трухачев, В. И. Развитие автотракторного машиностроения на современном этапе / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 17–18 января 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 32-42.

3. Индивидуальные гусеничные модули с изменяемым пятном контакта для сельскохозяйственных тракторов / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2026. – № 2(344). – С. 22-26. – DOI 10.33267/2072-9642-2026-2-22-26.

4. Исследование причин и способов снижения буксования колес трактора / Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2025. – № 1. – С. 12-17. – DOI 10.33920/sel-10-2501-02.

5. Испытания съемной гусеничной ходовой системы сельскохозяйственного трактора класса 0,9 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 8. – С. 111-120. – DOI 10.28983/asj.y2025i8pp111-120.

6. Оценка возможности применения гибких филамеров для изготовления упруго-демпфирующих элементов системы подрессоривания и виброизоляции сельскохозяйственной техники / Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2025. – № 2. – С. 25-30. – DOI 10.33920/sel-10-2502-04.

УДК 62-52

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛОЩАДИ ПЯТНА КОНТАКТА ТЯГОВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МОДУЛЕЙ

***Дегтярев Никита Иванович**, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, института механики и энергетики им. В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, n.degtyarev@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрена автоматизация регулирования площади пятна контакта тяговых гусеничных модулей, устанавливаемых на колесный сельскохозяйственный трактор тягового класса 1,4. Предложена структура автоматизированной системы, включающая датчики скорости, буксования, положения исполнительных механизмов, давления в гидросистеме и электронный блок управления. Рассмотрен алгоритм согласованного управления гидроцилиндром натяжения гусеницы и гидроцилиндром изменения положения заднего направляющего колеса.*

***Ключевые слова:** тяговый гусеничный модуль, пятно контакта, автоматизация, гусеничный движитель, давление на почву, буксование, трактор.*

Введение. Одной из основных проблем эксплуатации сельскохозяйственных тракторов является уплотняющее воздействие движителей на почву. Повышение массы машин, увеличение ширины агрегатов и многократные проходы техники по полю приводят к ухудшению структуры почвы, снижению водо- и воздухопроницаемости, увеличению глубины колеи и росту буксования [1-3].

Перспективным способом снижения техногенного воздействия является применение съемных тяговых гусеничных модулей. Такие модули устанавливаются вместо штатных колес трактора и позволяют увеличить площадь контакта с опорной поверхностью. За счет этого снижается среднее давление на почву и повышаются тягово-сцепные свойства машины.

Однако большинство известных конструкций имеет фиксированную геометрию гусеничного обвода. Это ограничивает адаптацию модуля к разным условиям: на слабонесущей почве требуется увеличенная площадь опоры, а при движении по твердому покрытию или при маневрировании избыточная длина контакта повышает сопротивление повороту и износ гусеницы. В связи с чем, целесообразно применять систему автоматического регулирования площади пятна контакта[4-7].

Алгоритм работы системы

Основным контролируемым параметром является буксование. Оно может быть определено по разности теоретической скорости ведущего колеса и фактической скорости движения:

$$\delta = \frac{v_т - v_ф}{v_т} \cdot 100\% \qquad (1)$$

где δ – буксование, %; $v_т$ – теоретическая скорость по ведущему колесу, м/с; $v_ф$ – фактическая скорость движения, м/с.

Если буксование превышает допустимое значение, а трактор работает в полевом режиме, система переводит модуль в положение увеличенного пятна контакта. Последовательность работы следующая:

- блок управления фиксирует превышение буксования;
- гидроцилиндр натяжения частично ослабляет гусеницу;
- гидроцилиндр изменения площади контакта опускает заднее направляющее колесо;
- длина опорной ветви увеличивается;
- гидроцилиндр натяжения восстанавливает заданное натяжение гусеницы.

При движении по твердому покрытию, выполнении разворотов или транспортных переездах система переводит модуль в номинальный режим. В этом случае заднее направляющее колесо поднимается, длина пятна контакта уменьшается, снижается сопротивление повороту и уменьшается износ резиноармированной гусеницы.

Таблица 1 – Режимы работы механизма натяжения

Режим	Положение механизма	Назначение
Транспортный	Уменьшенное пятно контакта	Движение по твердому покрытию
Полевой	Среднее положение	Работа на почвах нормальной несущей способности
Усиленный полевой	Увеличенное пятно контакта	Работа на влажных и слабонесущих почвах
Ручной	По команде оператора	Настройка и обслуживание

Результаты и обсуждение

Предложенная система позволяет устранить основной недостаток нерегулируемых гусеничных модулей – постоянную площадь контакта. В автоматизированном варианте модуль адаптируется к условиям движения: при работе на слабой почве увеличивает опорную поверхность, а при движении по твердому покрытию уменьшает ее.

Согласованное управление двумя исполнительными механизмами является обязательным условием надежной работы. Если изменять положение направляющего колеса без предварительного ослабления гусеницы, возникают повышенные нагрузки в гусеничном обводе, что может ускорить износ резиноармированной гусеницы, катков и подшипников. Поэтому алгоритм должен учитывать не только буксование, но и положение гидроцилиндров, давление в гидросистеме и текущий режим работы трактора.

Наиболее рациональным является автоматический режим, при котором оператор задает тип работы, а система самостоятельно выбирает положение механизма регулирования. Это снижает влияние человеческого фактора и повышает стабильность работы машинно-тракторного агрегата.

Вывод

Регулирование площади пятна контакта тягового гусеничного модуля позволяет адаптировать ходовую систему трактора к различным почвенно-дорожным условиям.

Автоматизированная система должна включать датчики скорости, буксования, положения гидроцилиндров, давления в гидросистеме, электронный блок управления и гидравлические исполнительные механизмы.

Применение автоматизированной системы регулирования повышает тягово-сцепные свойства трактора, снижает воздействие на почву и улучшает эксплуатационную универсальность тяговых гусеничных модулей.

Библиографический список

1. Индивидуальные гусеничные модули с изменяемым пятном контакта для сельскохозяйственных тракторов / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2026. – № 2(344). – С. 22-26. – DOI 10.33267/2072-9642-2026-2-22-26.

2. Исследование причин и способов снижения буксования колес трактора / Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2025. – № 1. – С. 12-17. – DOI 10.33920/sel-10-2501-02.
3. Стабилизатор тангенциальной устойчивости для тракторов тягового класса 1,4 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23–24 октября 2024 года. – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 13-20.
4. Operational tests of a small-sized farm multi-purpose vehicle / O. Didmanidze, R. Fedotkin, V. Kryuchkov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 583. – P. 08023. – DOI 10.1051/e3sconf/202458308023.
5. Фейгин, Г. А. Способы определения пятна контакта автотракторной техники / Г. А. Фейгин, Д. М. Дудин // Научный форум: Экономика, управление и цифровые технологии в АПК-2024 : СБОРНИК ТРУДОВ, приуроченных к Международной научно-практической студенческой конференции, Москва, 20 ноября 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2024. – С. 332-337.
6. Обзор конструкций стабилизаторов тангенциальной устойчивости ТГМ сельскохозяйственных тракторов / Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, А. А. Федоткина [и др.] // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей, Москва, 22–23 января 2025 года. – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2025. – С. 362-372.
7. Испытания съемной гусеничной ходовой системы сельскохозяйственного трактора класса 0,9 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 8. – С. 111-120. – DOI 10.28983/asj.y2025i8pp111-120.

ИНСТИТУТ МЕЛИОРАЦИИ, ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И СТРОИТЕЛЬСТВА ИМЕНИ А.Н. КОСТЯКОВА

СЕКЦИЯ МЕЛИОРАЦИЯ И РЕУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.544

ТЕПЛООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ ТУННЕЛЬНЫХ УКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

***Лебедев Денис Андреевич**, младший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», kol101124y@gmail.com*
Научный руководитель: *Дубенок Николай Николаевич, академик РАН, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ndubenok@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** В Центральном Нечерноземье выращивание теплолюбивых овощей ограничено дефицитом тепла и риском заморозков. Цель — оценка эффективности временных туннельных укрытий при выращивании баклажана. Эксперимент 2022–2024 гг. в Московской области с капельным орошением. Анализировали температуру, сумму эффективных температур, фенологию и экономику. Укрытия повышают температуру на 5–10°С, сумму эффективных температур — на 500–600°С. Вегетация сокращается со 130–135 до 113–117 суток. Туннельные укрытия эффективно компенсируют дефицит тепла, повышая продуктивность и экономическую устойчивость овощеводства в зоне рискованного земледелия.*

Ключевые слова: *туннельные укрытия, баклажан, защищенный грунт, температурный режим, эффективные температуры, капельное орошение, экономическая эффективность.*

Развитие овощеводства в условиях Центрального Нечерноземного региона сопряжено с рядом природно-климатических ограничений, среди которых ключевыми являются низкая обеспеченность тепловыми ресурсами, неустойчивость погодных условий и высокая вероятность возвратных весенних заморозков [1]. Эти факторы особенно критичны для теплолюбивых культур, таких как баклажан, томат, перец и другие представители пасленовых.

Традиционные технологии выращивания овощей в открытом грунте не позволяют в полной мере реализовать биологический потенциал данных культур. В то же время использование стационарных тепличных комплексов связано с высокими капитальными и эксплуатационными затратами, что ограничивает их применение в условиях мелкотоварного и фермерского производства.

В связи с этим особую актуальность приобретает применение промежуточных технологий защищенного грунта, к которым относятся временные укрытия туннельного типа. Они позволяют существенно улучшить условия выращивания растений при относительно низких затратах и высокой технологической гибкости [2, 6].

Целью настоящей работы является комплексный анализ особенностей применения временных туннельных укрытий для выращивания овощных культур в Центральном Нечерноземье с учетом агроклиматических, технологических и экономических факторов.

Исследования выполнены в 2022–2024 гг. на базе производственного участка ООО «Сергиевское», расположенного в Коломенском районе Московской области. Климат региона умеренно континентальный, характеризуется неустойчивым температурным режимом, высокой вероятностью возвратных весенних заморозков и неравномерным распределением осадков в течение вегетационного периода [3].

Объектом исследования являлись растения баклажана сорта «Черный опал», выращиваемые рассадным способом с применением временных туннельных укрытий и системы капельного орошения. Использовалась рассада возрастом 50–55 дней с 6–8 настоящими листьями. Высадка проводилась во второй декаде мая (12–16 мая) при достижении температуры почвы не ниже +12°C на глубине 8–10 см [4, 8].

Полив осуществлялся с использованием системы капельного орошения с эмиттерами через 0,4 м и расходом воды 1,8 л/ч, что обеспечивало равномерное увлажнение корнеобитаемого слоя [5, 7].

Посадка осуществлялась по двухстрочной ленточной схеме с расстоянием между растениями 35–40 см и междурядьями 60–65 см. Технология возделывания включала основную и предпосадочную обработку почвы, систему удобрений, капельное орошение, защиту растений и применение временных укрытий туннельного типа. При устройстве укрытий были определены следующие оптимальные параметры: высота тоннелей 1,2-1,4 м, ширина 1,6-1,8 м, длина 6 м, каркас - из проволоки толщиной 6 мм, длина дуг из расчета с превышения ширины полотна пленки на 0,5-0,6 м, расстановка дуг - через 1,5--2,0 м. (Рисунок 1).

Эксплуатация временных укрытий туннельного типа проводилась по следующему принципу. Утром, как только температура под пленкой поднималась выше 25–27°C, проводилось проветривание посредством открытия торцов укрытий. Кроме того, с 10 до 17 часов укрытия частично снимали, чтобы температура держалась на оптимальном для баклажана уровне.

Закрытие укрытий осуществлялось в вечернее время (в 18-19 часов), до существенного снижения температуры окружающего воздуха. Это позволило сохранять тепло, накопленное за день почвой и конструкцией, – это очень важно, чтобы защитить листья и другие органы растений от ночного холода. Когда ночные температуры стабильно

держались выше +15°С и заморозки уже не угрожали, укрытия снимали. Однако в конце вегетационного периода их повторное использование позволило продлить период плодоношения и защитить растения от ранних осенних заморозков.

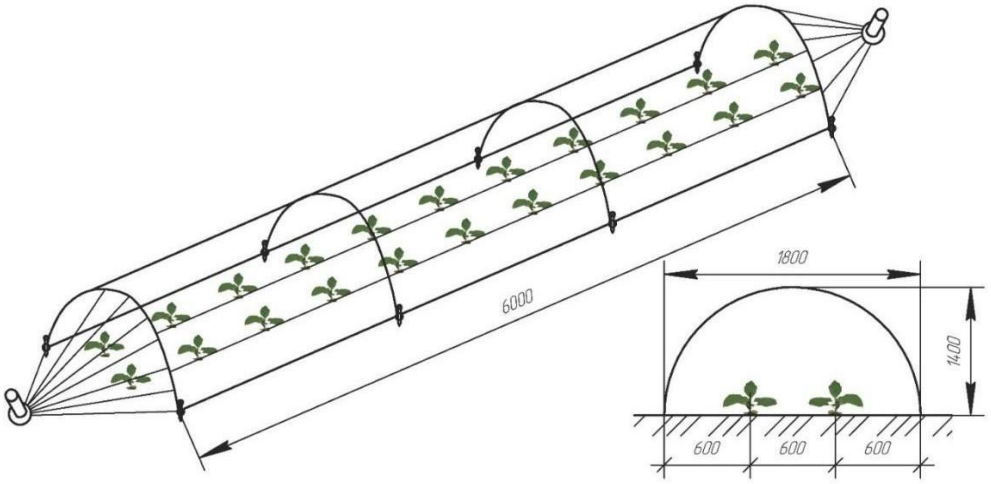


Рис. 1. Конструктивная схема временного укрытия туннельного типа

Для комплексной оценки агроклиматических условий в годы исследований, были рассчитаны интегральные показатели тепло- и влагообеспеченности за вегетационный период баклажана (с мая по сентябрь). Исходными данными служили ежедневные наблюдения, полученные с помощью автоматической метеостанции.

Оценка проводилась с использованием коэффициента увлажнения (КУ) по Н. Н. Иванову и гидротермического коэффициента (ГТК) по Г. Т. Селянинову, позволяющих оценить соотношение осадков, испаряемости и тепловых ресурсов (Таблица 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ агроклиматических условий по годам исследований

Показатель	2022 год	2023 год	2024 год
Сумма осадков (ΣО), мм	194,2	232,9	217,7
Сумма испаряемости (ΣE_0), мм	504	478	495
Коэффициент увлажнения (КУ)	0,39	0,49	0,44
Сумма активных температур (Σt), °С	2264	1485	2008
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,88	1,1	0,97

Агроклиматические условия в годы исследований существенно различались. Наиболее засушливым был 2022 год (КУ = 0,39), характеризующийся дефицитом влаги и высокой испаряемостью. Наиболее благоприятные условия сложились в 2023 году (ГТК = 1,10), обеспечившем оптимальное соотношение тепла и влаги. Условия 2024 года были близки к среднемноголетним и занимали промежуточное положение.

Проведение исследований в контрастных погодных условиях позволило объективно оценить эффективность технологии в широком диапазоне внешних факторов.

Полевой опыт был заложен по многофакторной схеме с изучением влияния регулируемых агротехнических факторов:

Фактор А — уровень влажности почвы: 1) 70% НВ, 2) 80% НВ, 3) 90% НВ.

Фактор В — уровень минерального питания: 1) без удобрений, 2) N150P90K140.

Поддержание заданного уровня влажности осуществлялось с использованием системы капельного орошения. Система удобрений включала основное внесение, стартовое локальное внесение и последующие подкормки.

Результаты исследований показали, что применение временных туннельных укрытий оказывает комплексное влияние на микроклимат и темпы развития растений. Ключевым фактором, определяющим эффективность данной технологии, является изменение температурного режима и увеличение суммы накопленных активных температур.

Анализ фенологических наблюдений показал, что переход растений баклажана между основными фазами развития тесно связан с накоплением определенного количества эффективных температур. Так, от высадки рассады до начала бутонизации растениям требуется 468–503°С, переход к цветению происходит при накоплении 476–499°С, а начало плодоношения — при достижении 1616–1697°С.

Таблица 2

Сумма среднесуточных температур воздуха, накопленных посевами баклажанов в основные периоды развития (среднее за 2022-2024 г.)

Внесение мин. удобрений	Уровень НВ, %	Сумма среднесуточных температур воздуха по периодам развития с применением туннельных укрытий, ℃				За всю вегетацию без укрытий, ℃	За всю вегетацию в туннельных укрытиях, ℃
		Посадка - бутонизация	Бутонизация - цветение	Цветение - начало плодоношения	Начало плодоношения - последний сбор		
Без удобрений	70	499	486	694	1105	2185	2784
	80	497	493	703	1094	2179	2787
	90	503	499	695	1076	2188	2773
N150P90K140	70	476	476	685	1052	2156	2689
	80	469	485	675	1060	2168	2689
	90	468	479	669	1094	2159	2710

Данные значения отражают биологическую потребность культуры в тепле и подтверждают, что температурный фактор является определяющим в формировании урожая.

Наиболее значимые различия между вариантами выращивания проявляются при анализе суммарного теплового ресурса за вегетационный период. Установлено, что при использовании туннельных укрытий сумма среднесуточных температур достигает 2689–2787°С, тогда как в условиях открытого грунта этот показатель составляет лишь 2156–2188°С. Таким образом, применение укрытий обеспечивает дополнительное накопление до 500–600°С эффективных температур, что имеет принципиальное значение для условий Центрального Нечерноземья (Таблица 2).

Дополнительно установлено, что повышение температуры под укрытиями в дневные часы на 5–10°С и снижение ночных теплопотерь создают устойчивый положительный тепловой баланс. Это способствует не только ускорению роста растений, но и повышению эффективности физиологических процессов, включая фотосинтез и поглощение элементов питания.

Экономическая эффективность выращивания овощей в условиях Центрального Нечерноземья во многом определяется уровнем капитальных вложений и текущих затрат на поддержание микроклимата. Сравнение временных туннельных укрытий и классических

теплиц показывает существенные различия как по структуре затрат, так и по срокам окупаемости.

Для условий Центрального Нечерноземья туннельные укрытия являются более экономически целесообразным вариантом в сравнении с классическими теплицами. Они обеспечивают низкий уровень инвестиций, быструю окупаемость и высокую рентабельность при приемлемом уровне урожайности.

Библиографический список

1. Новиков, С.А. Настольная книга для фермера Нечерноземной зоны России / С.А. Новиков, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, В.Н. Легеза. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2019. – 588 с. – ISBN 978-5-9906860-8-3. – EDN WIHFHO.
2. Шенцева, Е.В. Приемы повышения продуктивности баклажанов с использованием туннельных укрытий. - Альманах, 2011. - Волгоградское отделение РЭА, РАЕН, Волгоградский госуниверситет. - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2011.-С. 311-319.
3. Дубенок Н.Н. Особенности роста и закономерности развития ранних баклажанов при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, Д. А. Лебедев, А. А. Медведева // Орошаемое земледелие. – 2025. – № 2(49). – С. 35-41. – DOI 10.35809/2618-8279-2025-2-5. – EDN DRVLUL.
4. Дубенок, Н.Н. Эффективность использования воды и закономерности водопотребления баклажана при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья / Н.Н. Дубенок, Д.А. Лебедев, А.В. Гемонов // Овощи России. 2026;(1):5-12. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12.
5. Дубенок, Н.Н. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 4. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037. – EDN NTSHID.
6. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9-13. – EDN UYXMLO.
7. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев. – Москва: Издательство Проспект, 2023. – 136 с. – ISBN 978-5-392-38124-1. – EDN XBBQEL.
8. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX

УДК 631.41:631.674.6:634.11

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ МОЛОДОГО ВИШНЁВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Калмыкова Екатерина Сергеевна, *аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kalmukova.es@rgau-msha.ru*
Научный руководитель: ***Дубенок Николай Николаевич****, академик РАН, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ndubenok@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В работе рассмотрено влияние различных режимов капельного орошения на агрохимическое состояние почвы в молодом вишнёвом саду, расположенном в условиях Центрального региона Нечернозёмной зоны России. Исследования проводились в 2023–2025 гг. на базе учебно-опытного хозяйства «Мичуринский сад» РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. В двухфакторном полевом опыте изучали режимы увлажнения почвы (60–80, 70–90, 80–100 % НВ, а также контроль без полива) и сорта вишни Волочаевка и Молодёжная. Установлено, что наилучшие показатели свойств почвы обеспечиваются при режимах орошения: 60–80 % НВ для сорта Волочаевка и 70–90 % НВ для сорта Молодёжная. Орошение при режиме более 90%НВ приводит к вымыванию элементов питания, тогда как отсутствие орошения сопровождается ухудшением кислотности почвы.*

Ключевые слова: *капельное орошение, вишня Волочаевка и Молодежная, питательные вещества, молодой сад.*

В современных агротехнологиях используется широкий спектр способов орошения: поверхностные (по бороздам, затоплением), дождевание, внутрипочвенное и капельное. Каждый из них по-разному влияет на водный режим почвы и динамику элементов питания [1, 5, 7, 8].

Известно, что при поверхностных способах полива формируется значительный поток влаги, способствующий выносу растворённых веществ за пределы корнеобитаемого слоя. В результате усиливается миграция нитратов, фосфатов и калия, а также происходит частичная потеря органического вещества. В отличие от этого, капельное орошение обеспечивает локализованное поступление воды, что снижает глубину фильтрации и ограничивает вынос питательных соединений. Однако при увеличении норм полива возможно формирование зон локального засоления и изменение свойств почвенного поглощающего комплекса. Длительное применение капельного орошения также может приводить к перераспределению органического вещества по профилю почвы. [2, 3, 4, 6].

Полевые исследования проводили на территории учебно-опытного хозяйства лаборатории плодоводства «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Двухфакторный полевой опыт заложен в 2022 году. Перед закладкой опыта было произведено внесение органических удобрений в виде конского навоза с опилками в количестве 100 т/га. Первый фактор (режим увлажнения почвы при капельном орошении) включал варианты с поддержанием влажности почвы в диапазоне: 1) 60-80% наименьшей влагоемкости (НВ); 2) 70-90% НВ; 3) 80-100% НВ; 4) контроль (без орошения). В качестве второго фактора выступали сорта вишни «Волочаевка» и «Молодежная».

Отбор почвенных образцов проводился ежегодно. Определялись: кислотность (pH), аммонийный и нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий и содержание гумуса. Анализы выполнялись с учётом допустимых погрешностей, соответствующих требованиям нормативной документации

Результаты исследований, проводимых в 2023 году, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание основных элементов питания и органического вещества в почве при разных режимах увлажнения (2023 г.)

Режим орошения	Ед. pH(KCL)	N-NH4, мг/кг	N-NO3, мг/кг	P2O5, мг/кг	K2O, мг/кг	Гумус, %
сорт Волочаевка						
60-80% НВ	5,23 ± 0,20	29,0 ± 2,9	3,8 ±0,8	133 ±16,0	186,6±18,7	3,8 ± 0,6
70-90% НВ	5,48 ± 0,20	29,2 ± 2,9	3,5 ±0,7	84,2±10,1	95,7±14,4	3,5 ± 0,5
80-100% НВ	5,84 ± 0,20	29,6 ± 3,0	9,2 ±0,7	346 ±41,5	471,7±47,2	3,7 ± 0,6
Контроль (без орошения)	5,07 ± 0,20	28,4 ± 2,8	3,6 ±0,7	104 ±12,5	301,7±30,0	3,1 ± 0,5
НСР	0,29	0,32	0,23	5,32	4,34	0,19
сорт Молодежная						
60-80% НВ	5,22 ± 0,20	30,8 ± 2,3	3,6 ±0,7	168 ±20,2	181,1±18,1	3,5 ± 0,5
70-90% НВ	5,49 ± 0,20	31,1 ± 2,3	3,1 ±0,6	181 ±21,7	218,1±21,8	4,0 ± 0.6
80-100% НВ	5,70 ± 0,20	32,1 ± 2,4	3,4 ±0,7	251 ±30,1	432,6±43,3	3,1 ± 0.5
Контроль (без орошения)	4,05 ± 0,20	29,3 ± 2,9	3,2 ±0,6	53,5 ± 6,4	89,3±13,4	3,3 ± 0,5
НСР	0,16	0,46	0,19	5,05	3,55	0,19

В первый год наблюдений отмечено, что увеличение влажности почвы сопровождалось ростом значений pH. У обоих сортов реакция среды смещалась в сторону слабокислой, что связано с более равномерным распределением влаги. Содержание аммонийного азота возрастало при повышении влажности. Это связано с активизацией микробиологических процессов и ускорением разложения органического вещества при достаточном доступе кислорода.

Поведение нитратного азота отличалось по сортам. У сорта Волочаевка при максимальной влажности наблюдалось его увеличение, тогда как у сорта Молодёжная значения оставались практически неизменными. Это указывает на различия в интенсивности нитрификации. Содержание фосфора и калия также увеличивалось с ростом влажности. Это связано с улучшением диффузии элементов и переходом их в более доступные формы, а также с усилением микробиологической активности. В целом, в 2023 году различия между вариантами были относительно сглажены, что объясняется внесением органического удобрения перед закладкой полевого опыта.

В 2025 году были отобраны образцы почвы на содержание основных элементов питания и органического вещества в почве при разных режимах увлажнения. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание основных элементов питания и органического вещества в почве при разных режимах увлажнения (2025 г.)

Режим орошения	Ед. $pH_{(KCL)}$	$N\text{-}NH_4$, мг/кг	$N\text{-}NO_3$, мг/кг	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/кг	Гумус, %
сорт Волочаевка						
60-80% НВ	6,15 ± 0,20	48,8 ± 3,7	4,6 ± 0,9	401,0±48,1	493,7 ±49,4	4,5 ± 0,7
70-90% НВ	6,18 ± 0,20	53,4 ± 4,0	3,2 ± 0,6	200,0 ±24,0	273,5 ± 27,4	4,3 ± 0,6
80-100% НВ	6,22 ± 0,20	55,2 ± 4,1	4,0 ± 0,8	299,0 ±35,9	367,5 ± 36,8	1,4 ± 0,3
Контроль (без орошения)	5,91 ± 0,20	44,3 ± 3,3	8,6 ± 0,6	380,0 ±45,6	545,6 ± 54,7	0,7 ± 0,1
НСР	0,16	0,58	0,24	6,59	5,66	0,19
сорт Молодежная						
60-80% НВ	6,20 ± 0,20	54,4 ± 4,1	5,4 ± 0,4	418,0 ±50,2	508,6 ± 50,9	5,1 ± 0,5
70-90% НВ	6,36 ± 0,20	43,5 ± 3,2	5,0 ± 1,0	395,0 ±47,4	557,7 ± 55,8	6,3 ± 0,6
80-100% НВ	6,87 ± 0,20	58,2 ± 4,4	3,9 ± 0,8	116,0 ± 13,9	133,8 ± 13,4	2,0 ± 0,4
Контроль (без орошения)	5,98 ± 0,20	31,8 ± 2,4	5,9 ± 0,4	407,0 ± 48,8	597,4 ± 59,7	1,2 ± 0,2
НСР	0,18	0,64	0,23	5,07	5,98	0,25

В 2025 году наблюдалась стабилизация агрохимических показателей при использовании капельного орошения. Отмечено перераспределение форм азота в сторону аммонийной, что характерно для условий достаточного увлажнения.

Наиболее благоприятные условия для сохранения органического вещества и элементов питания обеспечивал режим 60–80 % НВ. Для сорта Молодёжная сопоставимые результаты наблюдались также при 70–90 % НВ.
При избыточном увлажнении (80–100 % НВ) фиксировалось снижение содержания фосфора, калия и гумуса, что связано с их вымыванием. Варианты без орошения характеризовались накоплением нитратов и снижением уровня органического вещества.

В результате проведенных исследований было установлено, что капельное орошение оказывает существенное влияние на агрохимические свойства почвы под молодыми насаждениями вишни сортов Волочаевка и Молодёжная. Наиболее выраженные положительные эффекты достигаются при режимах орошения — 60–80 % НВ для сорта Волочаевка и 70–90 % НВ для сорта Молодёжная, что подтверждено статистически достоверными различиями по ключевым агрохимическим показателям. Применение капельного орошения в пределах 60–90 % НВ следует рассматривать как наиболее эффективный приём рационального управления питательным и водными режимами почвы в молодых садах вишни, позволяющий существенно повысить сохранность почвенного плодородия.

Библиографический список

1. Гурина, И.В. Орошение и удобрение в технологиях возделывания томатов открытого грунта / И.В. Гурина, А.П. Тищенко // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 246-264. – DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-4-246-264. – EDN WUDWBA.

2. Дубенок, Н.Н. Агрохимические и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы при капельном орошении плодового питомника / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев [и др.] // Овощи России. – 2021. – № 3. – С. 116-121. – DOI 10.18619/2072-9146-2021-3-116-121. – EDN PHKTEW.

3. Дубенок, Н. Н. Влияние режимов капельного орошения на агрохимические свойства почвы и динамику питательных элементов в молодом вишневом саду / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, Е. С. Калмыкова // Плодородие. – 2025. – № 6(147). – С. 73-77. – DOI 10.25680/S19948603.2025.147.14. – EDN WSFMIA.

4. Дубенок, Н.Н. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 4. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037. – EDN NTSHID.

5. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9-13. – EDN UYXMLO.

6. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев. – Москва: Издательство Проспект, 2023. – 136 с. – ISBN 978-5-392-38124-1. – EDN XBBQEL.

7. Пугачев, Г.Н. Влияние капельного орошения на изменение агрофизических и агрохимических свойств почвы интенсивного сада / Г. Н. Пугачев, А. И. Кузин // Земледелие. – 2019. – № 6. – С. 5-8.

8. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX.

УДК 631.363

СВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ С ВЛАЖНОСТЬЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

Попов Иван Дмитриевич, *аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kadet35-texnar@mail.ru*
Научный руководитель: ***Пчелкин Виктор Владимирович****, д.т.н., профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,* v.pchelkin@rgau-msha.ru

Аннотация: *Установлены оптимальные границы регулирования влажности дерново-подзолистой почвы при капельном орошении столовой свеклы в условиях Нечернозёмной зоны РФ. На основе математической модели В.В. Шабанова выявлена зависимость относительной продуктивности культуры от влажности почвы в слое 0–0,5 м. Рациональный интервал поддержания влажности составляет 0,72–0,86 НВ, что обеспечивает получение 92–100 % от потенциальной урожайности. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными значениями урожайности достиг 0,928±0,071 при коэффициенте детерминации R^2 = 0,861, что подтверждает высокую прогностическую точность модели.*

Ключевые слова: *столовая свекла, влажность почвы, дерново-подзолистая почва, капельное орошение, наименьшая влагоёмкость, продуктивность.*

Стабильное регулирование влажности орошаемых дерново-подзолистых почв является определяющим фактором реализации генетического потенциала столовой свеклы в условиях Нечернозёмной зоны РФ [4, 5, 6]. Существующие рекомендации по нормированию полива овощных культур часто базируются на усреднённых данных, не учитывающих специфику капельного орошения и почвенно-климатические особенности региона [1, 2, 3]. Цель работы – определение научно обоснованных границ регулирования почвенной влаги для получения стабильно высокой урожайности столовой свеклы при капельном поливе в вегетационный период 2025 г.

Полевые исследования проведены в 2025 г. на опытно-мелиоративном пункте «Дубна» (Сергиево-Посадский г.о., Московская область). Схема опыта включала три варианта полива с поддержанием относительной влажности корнеобитаемого слоя (0–0,5 м) в пределах 0,7–0,8; 0,8–0,9 и 0,9–1,0 наименьшей влагоёмкости (НВ), а также контроль (естественное увлажнение). Опыт заложен в трёхкратной повторности на делянках площадью 60 м². Возделывалась столовая свекла сорта «Валента» с междурядьями 0,45 м. Влажность почвы контролировали влагомером послойно с шагом 0,1 м. Аппроксимацию зависимости относительной урожайности от влажности проводили с использованием модели В.В. Шабанова, учитывающей экспоненциальное снижение продуктивности при отклонении влаги от оптимума.

Максимальная урожайность столовой свеклы (64,1 т/га) сформирована при поддержании влажности в интервале 0,8–0,9 НВ (средняя фактическая влажность 0,85 НВ). Снижение влаги до диапазона 0,7–0,8 НВ уменьшило продуктивность до 52,4 т/га (82 % от максимума), что подтверждает высокую чувствительность культуры к дефициту доступной влаги. Превышение оптимального уровня (0,9–1,0 НВ) также привело к снижению урожайности до 58,7 т/га (92 %) вследствие ухудшения аэрации почвы и замедления физиологических процессов в корневой системе. Контрольный вариант без орошения показал наименьшую продуктивность (34,2 т/га).

На основании аппроксимации экспериментальных данных ($R^2 = 0,861$) определены ключевые параметры функции продуктивности: оптимальная влажность почвы составляет Wopt = 0,79 НВ (0,30 м³/м³), коэффициент отражающий умеренную засухоустойчивость культуры и разветвлённую корневую систему $\gamma = 6,85$. Границы интервала, соответствующие снижению относительной продуктивности до уровня 0,92, находятся на отметках W' = 0,72 НВ и W" = 0,86 НВ. С учётом допустимого снижения урожайности на 8 % от потенциального максимума, рациональный интервал регулирования влажности почвы для столовой свеклы составляет 0,72–0,86 НВ.

Статистическая обработка подтвердила высокую сходимость модели с опытными данными: коэффициент корреляции $r = 0,928 \pm 0,071$. При поддержании влажности в указанном интервале и глубине залегания грунтовых вод ниже 1,8 м формируется устойчивый инфильтрационный режим водного баланса. В 2025 г. величина инфильтрационного стока составила 94 мм, что обеспечило оптимальный баланс доступной влаги без её потерь на заболачивание.

Результатом проведенных работ стало: уточнены границы регулирования влажности дерново-подзолистой почвы при капельном орошении столовой свеклы в Нечернозёмной зоне РФ. Оптимальный интервал составляет 0,72–0,86 НВ, обеспечивающий 92–100 % от потенциальной урожайности; установленная математическая зависимость ($R^2 = 0,861$, $r = 0,928 \pm 0,071$) обладает высокой прогностической точностью и может использоваться при проектировании режимов полива; поддержание влажности в рациональном интервале способствует формированию инфильтрационного режима, исключающего как дефицит, так и избыток доступной влаги в корнеобитаемом горизонте.

Библиографический список

1. Пчелкин, В.В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв на их плодородие при выращивании моркови столовой / В.В. Пчелкин, С.О. Владимиров, О.М. Кузина // Природообустройство. – 2018. – № 5. – С. 92-97. – DOI 10.26897/1997-6011/2018-5-92-97. – EDN YRRVDN.
2. Пчёлкин, В.В. Анализ водных балансов зоны аэрации при производстве белокочанной капусты / В.В. Пчёлкин, Е.А. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – № 5. – С. 35-38. – DOI 10.32962/0235-2524-2025-5-35-38
3. Пчелкин, В.В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв водоразделов на урожайность многолетних трав / В. В. Пчелкин, М. А. Никитина // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 14-17. – EDN RQREQT.
4. Dubenok, N.N. Effects of drip irrigation regimes on growth, quality plum seedlings, and water use efficiency in European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября – 04 2020 года. Vol. 1679. – Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52093. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/5/052093. – EDN IVQDBL.
5. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX.
6. Dubenok, N.N. Properties of sod-podzolic soil in European Russia with drip irrigation of the fruit nursery / N. N. Dubenok, A. V. Gemonov, A. V. Lebedev [et al.] // International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science" (AEES 2021), London, Virtual, 27–29 октября 2021 года. Vol. 1010. – London: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012108. – DOI 10.1088/1755-1315/1010/1/012108. – EDN DNSJNQ.

УДК 633.18.03

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОРТОВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РИСА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛУПУСТЫННОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

Адучиева Марианна Грачевна, *аспирант, научный сотрудник, КФ ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, marianna.aduchieva@yandex.ru*

Аннотация. *Полевые исследования проводились в 2023–2025 гг. в рисовых чеках хозяйства АО «50 лет Октября» Октябрьского района Республики Калмыкия. Густота стеблестоя варьировала от 535±22,10 до 624±25,14 шт./м^2. Максимальная масса зерна с метёлки (3,67±0,17 – 4,02±0,12 г) отмечена у сорта Рапан. Урожайность зерна варьировала от 5,91 до 6,84 т/га.*

Ключевые слова: *рис, сорт, коэффициент кущения, структура урожая, урожайность.*

Рис – ключевой элемент мирового продовольственного обеспечения, который служит основой питания для значительной части населения планеты, в условиях роста численности приоритетной задачей становится повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Рис занимает первое место среди зерновых культур по урожайности, а по объему производства третье место, уступая кукурузе и пшенице. Динамика производства риса в

России характеризуется циклическими колебаниями, зависящими от климатических условий, государственной политики, рыночных факторов и технологических изменений. Различные морфологические и физиологические особенности растений способствуют повышению урожайности зерна риса [1,3,4]. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности рисоводства в сложных агроклиматических условиях Сарпинской низменности Республики Калмыкия. Изучение влияния сортовых особенностей на формирование урожайности риса через анализ элементов структуры урожая имеет высокую значимость. Исследования многих авторов показывают, что такие параметры, как количество продуктивных стеблей на единице площади, масса зерен в метелке и масса 1000 зерен, имеют сильную корреляцию с урожайностью [2,5,6].

Эксперименты проводились в 2023-2025 гг. в полупустынной зоне в рисовых чеках хозяйства АО «50 лет Октября» Октябрьского района Республики Калмыкия. В качестве объекта исследований выступали сорта риса – Боярин (стандарт), Вирасан, Рапан 2. Минеральные удобрения в дозе $N_{150}P_{90}$ были внесены под предпосевную культивацию: фосфорные удобрения – осенью под основную обработку, азотные внесены весной, а также в качестве подкормки в фау кущения растений риса. Повторность опыта 4-х кратная с систематическим размещением вариантов, площадь делянок 200 м^2. Посев риса проводили в I-II декадах мая, узкорядным способом с заделкой семян на глубину 1,5-2,0 см по технологии укороченного затопления с оросительной нормой 18-21 тыс. м^3/га.

Зона рисосеяния на территории Республики Калмыкия размещена в пределах Сарпинской низменности. Сумма активных температур воздуха выше +15 ºС достигает выше 3000 ºС. За период вегетации риса (май – сентябрь) выпало от 85 до 205 мм осадков. Почвенный покров Сарпинской низменности представлен сложным комплексом зональных почв (лугово-светло каштановые в комплексе с солонцами), формирующихся в условиях засушливого климата и высокой естественной засоленности. Почва в пахотном слое по гранулометрическому составу относится к тяжелосуглинистым. Общее содержание солей в слое 0–200 см колеблется от 0,2 до 2,0 %. По типу засоления почвы преимущественно хлоридные, сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные, pH – 7,3…8,6. Вода для орошения, поступающая в рисовые системы из р. Волги, обладает невысокой минерализацией (в пределах 0,2–0,5 г/л), а химический состав может быть как гидрокарбонатно-кальциевым, так и сульфатно-кальциево-натриевым, что обусловлено сезонными изменениями гидрохимического режима реки.

В Октябрьском районе с 2007 по 2025 год посевные площади риса во всех категориях хозяйств сократились на 21,4 % — с 5,6 тыс. га до 4,4 тыс. га. Несмотря на сокращение площадей, урожайность культуры остаётся на стабильном уровне, что говорит о поддержании технологического уровня её возделывания. По итогам 2025 года средняя урожайность риса-сырца по республике достигла 40,9 ц/га. (рис. 1).



Рис. 1 Динамика показателей зернового производства риса в Республике Калмыкия (2007-2025 гг.)

Фенологические наблюдения за ростом и развитием риса в условиях Сарпинской низменности показали, что продолжительность вегетационного периода у изучаемых, среднеспелых сортов за годы исследований варьировала от 115 до 119 дней. Продолжительность вегетационного периода по всем сортам была в пределах их характеристик.

Элементы структуры урожая представляют собой комплекс взаимосвязанных признаков, которые определяют потенциал продуктивности риса. Коэффициенты общего кущения у сортов Боярин, Вирасан и Рапан 2 колебались в пределах от 3,2±0,08 до 3,4±0,09 единиц. Этот показатель имел высокую положительную корреляцию с урожайностью (0,95±0,08) (табл. 1). Уровень общего кущения растений оказывает значительное влияние на важнейший элемент структуры урожая – густоту продуктивного стеблестоя в зависимости от сорта риса. В нашем опыте данный показатель варьировал от 535±23,15 до 624±25,14 шт./м^2 коэффициент корреляции с урожайностью составил – 0,91±0,11. Более высокая урожайность зерна формировалась при густоте продуктивного стеблестоя 560–610 стеблей на 1 м^2 у сорта Рапан.

Параметр длины метелки не входит в число структурных показателей растения. Однако если плотность размещения колосков на метелке остается неизменной, увеличение ее длины приводит к росту общего количества зерен, что, в свою очередь, положительно отражается на уровне продуктивности. В нашем опыте длина колоса у сортов была средней и составила 14,8…15,3 см.

Другой не мало важный параметр – количество зерен в колосе, который влияет на общую массу урожая и его качество. Среднее количество колосков в метелке варьировало у сортов в пределах от 117 до 126 штук.

Масса зерна с метелки – показатель продуктивности одного колоса. Чем больше масса, тем выше потенциал урожайности. У исследуемых сортов эта величина варьировала от 3,67 до 4,02 г., и максимальной она была у сорта Рапан 2. Статистический анализ выявил сильную связь данного признака с урожайностью: коэффициент корреляции равен 0,93±0,09, что подтверждает его значимость в формировании урожайности культуры.

Показатель массы 1000 зерен служит индикатором крупности зерна и свидетельствует о его более высоком качестве. У сортов наблюдалось незначительное варьирование этого показателя (28,77–29,81 г).

Таблица 1

Характеристика сортов риса по показателям биометрического анализа за 2023-2025 гг.

Сорт	Признаки					
	Коэффициент общего кущения, ед.	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Боярин (st)	3,3±0,10	586±23,15	15,3±0,22	126±6,20	3,81±0,14	29,81±0,25
Вирасан	3,2±0,08	535±22,10	15,0±0,19	117±6,11	3,67±0,17	28,77±0,21
Рапан 2	3,4±0,09	624±25,14	14,8±0,20	124±5,92	4,02±0,12	29,25±0,23

Урожайность зерна риса в нашем опыте в 2023 г. варьировала от 5,33±0,19 до 6,25±0,16 т/га (в среднем 5,78 т/га), а в 2024 г. – от 6,02 до 7,12 т/га (в среднем 6,39 т/га), и в 2025 г. составила от 5,56±0,14 до 6,84±0,16 т/га (в среднем 6,10 т/га) (табл. 2). Урожайность стандартного сорта риса Боярин за годы исследований составила от 5,77±0,19 до 6,02±0,16 т/га. Сорт риса Рапан 2 в 2023–2025 гг. показал достоверную прибавку урожайности по

сравнению со стандартом, превышение достигало 0,84 т/га. Такая прибавка по сравнению со стандартом обусловлена большей жизнеспособностью растений риса в начальный период развития и увеличенной густотой стояния. Урожайность сорта риса Вирасан немного уступала стандарту (-0,26 т/га).

Таблица 2

Показатели урожайности зерна сортов риса (2023-2025 гг.)

Сорт	2023	2024	2025	Среднее за три года	Отклонение от стандарта, %
Боярин (st)	5,77±0,19	6,02±0,16	5,91±0,17	5,90	-
Вирасан	5,33±0,12	6,04±0,16	5,56±0,14	5,64	-4,41
Рапан 2	6,25±0,16	7,12±0,18	6,84±0,16	6,74	+14,24
НСР $_{05}$	0,12	0,14	0,15		

Продуктивность сортов определяется комплексным взаимодействием всех элементов структуры урожая. Максимальная урожайность зерна риса формировалась при следующих показателях элементов структуры урожая: количество продуктивных стеблей на единице площади – 624±25,14 шт./м^2, количестве зерен на метелке 124±5,92 штуки, массой зерна с колоса 4,02±0,12 г. и массой 1000 зерен 29,25±0,23 г.

Проведенный анализ данных по элементам структуры урожая и прочим показателям сортов риса, позволил определить характер их воздействия на формирование урожайности. На урожайность зерна риса существенное влияние оказывали сортовые особенности культуры, а именно морфологические и физиологические особенности растений.

Библиографический список

1. Шевченко, В.А. Агромелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий / В.А. Шевченко, Э.Б. Дедова, Н.З. Шамсудинов и др. Монография. Москва, ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова». 2022. – 205 с. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2022.98.82.001
2. Адучиева, М.Г. Анализ элементов структуры урожайности солеустойчивых сортов риса в условиях республики Калмыкия / М.Г. Адучиева, Г.Н. Кониева // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2024. № 2 (49). С. 58-62. DOI: 10.24412/2071-7830-2024-249-58-62
3. Гученко, С.С. Влияние норм высева и минеральных удобрений на урожайность и элементы продуктивности сортов риса / С.С. Гученко, Т.А. Потенко, М.В Анищенко // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2. С. 98–103. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-98-103.
4. Костылев, П.И. Влияние элементов структуры урожая и других количественных признаков образцов риса на урожайность зерна / П.И. Костылев, Е.В. Краснова, А.В. Аксенов // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 12 (138). С. 1-6.
5. Магомедов, Н.Р. Влияние предшественников и минеральных удобрений на урожайность риса в условиях Терско-Сулакской подпровинции / Н.Р. Магомедов, Д.Ю. Сулейманов, Ф.М. Казиметова, А.А. Абдуллаев // Плодородие. – 2021. – №4. – С. 59-62. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.18.
6. Скаженник, М.А. Закономерности формирования продуктивности интенсивных и экстенсивных сортов риса / М.А. Скаженник, Н.В. Воробьев, В.С. Ковалев, С.В. Гаркуша, Т.С. Пшеницына, И.В. Балясный // Рисоводство. 2018. № 1 (38). С. 6-14.

УДК 631.674.6 (470.0)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ САЖЕНЦЕВ В ПЛОДОВЫХ ПИТОМНИКАХ

***Селиверстов Антон Михайлович**, аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, seliverstovantonm@yandex.ru*
Научный руководитель: ***Дубенок Николай Николаевич**, академик РАН, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ndubenok@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** В статье рассматриваются работы, направленные на изучение особенностей водного режима и водопотребления саженцев жимолости. Статья включает в себя результаты научных опытов по исследованию особенностей водопотребления и орошения жимолости, в том числе при помощи систем капельного орошения. Подчеркивается актуальность дальнейших исследований по данному вопросу.*

***Ключевые слова:** капельное орошение, жимолость, водопотребление саженцев, увлажнение почвы.*

Современное сельское хозяйство все более активно использует капельное орошение как технологически и экономически обоснованный метод орошения растений. Возникнув в середине XX века, эта система продолжает активно совершенствоваться и успешно внедряться в различных агроклиматических зонах. Суть метода заключается в точечной подаче воды непосредственно в прикорневую зону растений. Такой подход позволяет минимизировать потери воды, избежать переувлажнения или переуплотнения почвы, а также создать благоприятные условия для роста культур. Благодаря исключению попадания влаги на листья, снижается риск грибковых заболеваний, а также ожога растений, что особенно важно при выращивании.

Одним из значимых преимуществ капельного орошения является его адаптивность: оборудование может быть быстро переустановлено на новые участки, имеет высокую степень автоматизации и использоваться даже на участках со сложным рельефом. Системы легко масштабируются и подстраиваются под потребности конкретных культур, что делает их универсальным инструментом агротехнологий.

В процессе анализа были изучены различные типы систем капельного орошения – от ленточных и трубчатых до внутрипочвенных. Эти системы отличаются по ряду технических параметров: от расхода воды и рабочего давления до расстояния между эмиттерами. В качестве экспериментальных материалов были проанализированы исследования ученых, занимающихся вопросами водопотребления и применения капельного орошения в питомниках и садовых хозяйства. Также включены результаты первого полевого сезона многолетнего двухфакторного опыта по разработке режима орошения для саженцев жимолости в условиях Центрального района Нечерноземной зоны Российской Федерации при помощи системы капельного орошения.

Ряд авторов отмечает высокую эффективность капельного полива в условиях дефицита влаги. Например, в степных районах показано, что такой тип полива поддерживает влажность почвы на уровне 75–80% НВ, обеспечивая оптимальный водно-воздушный режим без переуплотнения почвы. При выращивании яблоневых садов применение капельного орошения способствовало увеличению массы и длины корней, особенно в верхних горизонтах почвы [1, 2, 4]. Исследования подчеркивают неравномерное распределение корней — с максимальной концентрацией в зоне увлажнения, что подчеркивает важность правильного подбора режима орошения [3, 9].

Работы, проведенные на территории Сибири, в том числе по жимолости и облепихе, доказали, что капельное орошение позволяет поддерживать более высокий запас влаги по

сравнению с неорошаемыми участками. Это особенно важно в засушливые периоды, когда растения испытывают максимальный стресс. Отмечено, что даже при минимальной влажности, характерной для контрольных участков, саженцы жимолости продолжают развиваться, однако интенсивность их роста и укоренения значительно ниже, чем на участках с капельным орошением [8].

Дополнительно следует отметить результаты по снижению затрат при использовании капельных систем. В частности, переход от капельниц к лентам позволяет удешевить систему, не теряя ее эффективности. А в условиях водного дефицита капельный полив обеспечил сокращение водопотребления на 40% и экономию удобрений до 50% [5, 6].

Автоматизация и возможность дозированной подачи воды с учетом климатических условий делают эту систему незаменимой в интенсивных садах. В работах по яблоневым садам Волгоградской области была установлена высокая эффективность при поливе до уровня 80% НВ с глубиной промачивания до 0,6 м. Отдельного внимания заслуживают исследования по древесным культурам, где корневая система распространяется асимметрично. Знание влияния контура увлажнения на морфологию корневой системы позволяет оптимизировать не только полив, но и размещение растений, в зависимости от потребностей конкретных пород [7].

В ходе выполнения опытно-экспериментальной работы был заложен двухфакторный опыт по изучению различных диапазонов увлажнения на формирование сортовых саженцев жимолости. Опыт заложен в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по методическим рекомендациям Б.А. Доспехова. Первым фактором выступает режим увлажнения почвы с поддержанием различной влажности почвы (1 – 60-80% НВ, 2 – 70-90% НВ, 3 – 80-100% НВ, 4 – контроль (без орошения). Вторым фактором выступают сорта жимолости. За первый полевой сезон были проведены замеры влажности почвы на опытных участках и прослежена динамика ее изменения (рис. 1). Замеры производились термостатно-весовым методом.

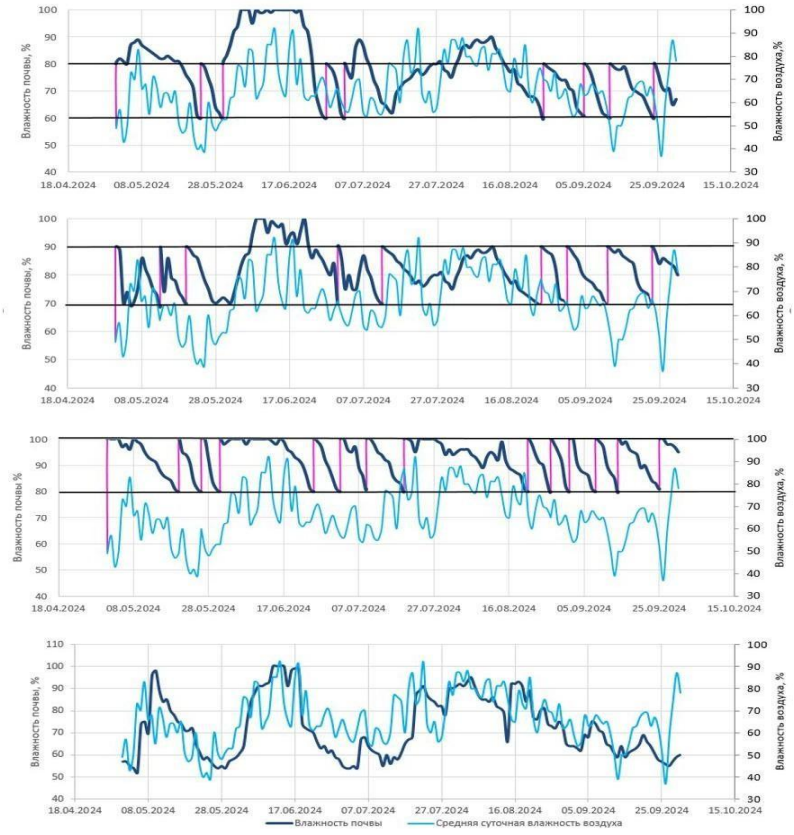


Рис.1 Динамика влажности почвы слоя 0-40 см за 2024г в различных вариантах опыта (1 – 60-80% НВ, 2 – 70-90% НВ, 3 – 80-100% НВ, 4 – контроль (без орошения)

На основании анализа многочисленных исследований можно с уверенностью сделать следующие обобщения: капельное орошение является высокоэффективным методом полива, особенно в условиях ограниченных водных ресурсов и сложного рельефа; оптимальный диапазон влажности почвы для большинства плодовых и ягодных культур составляет 60–80% от наименьшей влагоемкости; системы капельного полива способствуют интенсификации роста корневой и надземной массы, увеличению урожайности и улучшению микроклимата; автоматизация и адаптивность систем позволяет значительно снизить затраты на труд, электроэнергию и воду.

Таким образом, капельное орошение представляет собой перспективное направление в области сельскохозяйственного водоснабжения, требующее дальнейшего внедрения и научного сопровождения в различных природно-климатических условиях.

Библиографический список

1. Рябков, С. Влияние капельного орошения на почвенные процессы под многолетними насаждениями / С. Рябков, Л. Усатая, Н. Диденко // Danish Scientific Journal. – 2021. – № 46-2. – С. 3-6. – EDN QXTWVS.
2. Кременской, В.И. Технология внутрипочвенного и капельного полива с разными объемами локального увлажнения плодового яблоневого сада / В.И. Кременской, Н.М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 2(46). – С. 151-158. – EDN ZRTDFF.
3. Дубенок, Н.Н. Влияние капельного орошения на формирование корневой системы саженцев малины в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, К.Ю. Ильченко, А.В. Гемонов // Овощи России. – 2022. – № 3. – С. 50-54. – DOI 10.18619/2072-9146-2022-3-50-54. – EDN HCELPX.
4. Дубенок, Н.Н. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 4. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037. – EDN NTSHID.
5. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9-13. – EDN UYXMLO.
6. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев. – Москва: Издательство Проспект, 2023. – 136 с. – ISBN 978-5-392-38124-1. – EDN XBBQEL.
7. Шишкин, А.В. Оценка эффективности применения капельного полива при доращивании садовых культур / А.В. Шишкин // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 13–20 июля 2020 года. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2020. – С. 72-77. – EDN PQKKRV.
8. Рыжова, М.А. Качественные показатели саженцев жимолости после доращивания на участке с капельным орошением / М.А. Рыжова, Т.М. Нелюбова, А.А. Канарский [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6(200). – С. 29-33. – EDN BEMLQW.
9. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd,

Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX.

УДК 502/504: 631.67

НОРМИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ МОРКОВИ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Мутных Данил Александрович, *аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, dmutnykh@bk.ru*

Научный руководитель: ***Дубенок Николай Николаевич****, академик РАН, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ndubenok@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В статье обобщены современные подходы к нормированию дождевального орошения моркови в условиях лесной природно-климатической зоны Московской области. Рассмотрены оптимальные параметры орошения, проанализированы методологические подходы, выявлены нерешённые проблемы и предложены перспективные направления исследований для повышения эффективности водопользования.*

Ключевые слова: *режим орошения, нормирование, информационно-аналитическое дифференцирование.*

Изменение гидротермических условий в Центральной России, проявляющееся в увеличении частоты аномально засушливых периодов (продолжительностью свыше 15 суток), наряду с необходимостью достижения нормативных показателей производства корнеплодов (20–25 кг на человека в год), делает оптимизацию водного режима приоритетной задачей [1, 2, 4].

Традиционные методы нормирования орошения, разработанные для засушливых южных регионов, требуют существенной адаптации для лесной зоны Московской области из-за следующих факторов: особенности дерново-подзолистых почв водораздельных территорий; низкая естественная влагоёмкость и высокая скорость пересыхания верхних горизонтов; характеристики дождевальных систем: равномерное распределение влаги по всей площади посева и формирование микроклимата с повышенной влажностью приземного слоя воздуха [3, 7].

Наибольшая потребность во влаге приходится на фазы образования и интенсивного роста корнеплодов. От обеспечения оптимальной влагообеспеченности в эти периоды зависят товарная урожайность и качество продукции [5, 6].

На основе анализа современных исследований (2019–2024 гг.) установлены следующие параметры: влажность почвы - 80–85% наименьшей влагоёмкости (НВ) в начальный период вегетации; 70–75% НВ в период интенсивного роста корнеплодов; интенсивность осадков - не более 8–10 мм/час (для исключения вымывания семян и повреждения листьев); недопустимость снижения влажности ниже 60% НВ в фазу массового образования корнеплодов (риск снижения урожайности на 25–30%); ограничение избыточного орошения (свыше 90% НВ), приводящего к снижению содержания каротина на 15–18% и ухудшению лёжкости корнеплодов из-за активизации грибных патогенов.

В отечественной научной традиции доминируют три подхода: Балансовый подход (ФГБНУ «ВНИИГиМ» и региональные аграрные университеты). Основа — уравнение баланса влаги в почве с учётом притока воды дождеванием и расхода на транспирацию и испарение; точность прогноза водопотребления: ± 15–20%; слабо учитывает технические параметры дождевальных машин; Технологический подход (РГАУ-МСХА, ФГБНУ «РосНИИПМ», ВНИИ «Радуга»). Фокус — проектирование систем дождевального орошения и расчёт

поливных норм с учётом технических параметров дождевальных машин (круговых, фронтальных, барабанных); точность прогноза: ± 10–15%; требует детальных данных о типе машины, диаметре форсунок, давлении; информационно-аналитический подход (ВНИИ «Радуга»). Интеграция цифровых технологий в систему управления дождевальными машинами; мониторинг влажности почвы и прогнозирование водопотребления на основе агрометеорологических данных; точность зависит от качества данных и плотности сети метеостанций. Сравнительная характеристика по данным исследований 2019–2024 гг. представлена в (таблице 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика за 2019–2024 гг.

Режим орошения	Урожайность $т/га$	Суммарное водопотребление (брутто) $м^3/га$	Коэффициент использования поливной воды $кг/м^3$	Потери на испарение и снос ветром, %	Энергоемкость полива, кВт ∗ ч/га
Равномерный (85% НВ)	88,3	920	9,6	18-22	45
Дифференцированный (85-70-70% НВ)	94,7	850	11,1	15-18	42
Адаптивный (с корректировкой по влажности воздуха)	96,2	780	12,3	10-12	38

Нерешённые проблемы для лесной зоны Московской области: отсутствие методик корректировки норм полива с учётом естественной влажности приземного слоя воздуха (риск переувлажнения и развития грибных заболеваний); недостаточная изученность влияния пространственной вариабельности микрорельефа на равномерность орошения барабанными машинами в условиях водораздельных территорий; нехватка методов оперативной корректировки режимов орошения по данным дистанционного зондирования и наземного мониторинга в реальном времени (с учётом ветрового режима); отсутствие интегрированных моделей, учитывающих физиологические закономерности транспирации и технические параметры дождевальных машин с возможностью адаптации к условиям лесной зоны.

Перспективные направления исследований: разработка адаптивных моделей нормирования дождевального орошения с интеграцией данных о влажности почвы, транспирации и ветровом режиме в реальном времени; создание систем поддержки принятия решений для выбора типа дождевальной машины и планирования поливов с учётом микрорельефа и почвенного покрова; исследование возможностей применения дистанционного зондирования для оперативной оценки водного стресса и корректировки графиков дождевания в лесной зоне.

Современные тенденции в нормировании орошения моркови направлены на переход от статического дождевания к адаптивному управлению на основе мониторинга состояния почвенно-растительной системы и метеорологических условий. Дифференцирование режимов орошения по фазам развития, уровню продуктивности и гидротермическим условиям с учётом потерь на испарение и снос ветром обеспечивает оптимизацию водопользования и повышение урожайности. Для условий лесной зоны Московской области требуется дальнейшая адаптация существующих методик и разработка новых подходов с учётом региональной специфики.

Библиографический список

1. Брыль, С.В. Информационная технология планирования поливов сельскохозяйственных культур: специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Брыль Сергей Валерьевич. – Москва, 2009. – 26 с. – EDN QGRDJD.
2. Дубенок, Н.Н. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 4. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037. – EDN NTSHID.
3. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9-13. – EDN UYXMLO.
4. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев. – Москва: Издательство Проспект, 2023. – 136 с. – ISBN 978-5-392-38124-1. – EDN XBBQEL.
5. Овчинников, А.С. Влияние способов обработки и водного режима почвы на урожайность моркови при капельном орошении / А.С. Овчинников, С.А. Лисиченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 3(35). – С. 36-42. – EDN QTMQIS.
6. Пчелкин, В.В. Режим орошения моркови на дерново-подзолистых почвах водораздельных территорий Московской области / В.В. Пчелкин, С.О. Владимиров // Природообустройство. – 2015. – № 5. – С. 78-82. – EDN VDZYDN.
7. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX.

УДК 631.363

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ НА ОСНОВЕ ВОДНО-БАЛАНСОВОГО ПОДХОДА

***Попова Екатерина Александровна**, ассистент кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kkk97@list.ru*

Научный руководитель: *Пчелкин Виктор Владимирович, д.т.н., профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,* v.pchelkin@rgau-msha.ru

***Аннотация:** В работе представлены результаты исследования изменения составляющих водного баланса зоны аэрации дерново-подзолистых почв при возделывании белокочанной капусты с применением капельного орошения в Центральном районе Нечернозёмной зоны РФ. На основе лизиметрических данных и полевых экспериментов 2022–2024 гг. установлены закономерности формирования водопотребления культуры в зависимости от метеорологических условий и уровня почвенной влажности. Обоснованы*

оптимальные интервалы влажности почвы (0,8–0,9 НВ), обеспечивающие максимальную продуктивность при минимизации инфильтрационных потерь. Полученные данные рекомендованы для проектирования ресурсосберегающих систем орошения овощных культур.

Ключевые слова: *водный баланс, капельное орошение, дерново-подзолистая почва, водопотребление, белокочанная капуста, зона аэрации, оросительная норма.*

Обеспечение устойчивого производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменчивого климата Нечернозёмной зоны требует научно обоснованного регулирования водного режима почв [4, 5, 6]. Белокочанная капуста относится к влаголюбивым культурам, чья продуктивность напрямую зависит от своевременности и объёма полива. Анализ водного баланса зоны аэрации позволяет количественно оценить взаимодействие атмосферных осадков, поливной воды, транспирации и инфильтрации, что служит основой для разработки дифференцированных режимов орошения [2, 3]. Цель исследования – выявить закономерности изменения составляющих водного баланса в зависимости от влажности дерново-подзолистой почвы и обосновать параметры капельного орошения белокочанной капусты для условий Центрального района Нечернозёмья.

Эксперименты проводились в 2022–2024 гг. на ОМП «Дубна» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Почвы участка – лёгкие суглинки дерново-подзолистого типа, характерные для повышенных элементов рельефа. Климатические условия вегетационных периодов варьировали: 2022 г. – засушливый (219 мм осадков), 2023 г. – благоприятный (298 мм), 2024 г. – умеренно засушливый (257 мм).

Полевой опыт включал четыре варианта увлажнения корнеобитаемого слоя: Высокий уровень: 0,9–1,0 НВ; средний уровень: 0,8–0,9 НВ; пониженный уровень: 0,7–0,8 НВ; контроль (без орошения).

Повторность трёхкратная, площадь делянки – 50 м². Полив осуществлялся системой капельного орошения (капельницы 3 л/ч). Влажность почвы контролировалась электронным влагомером послойно (10, 20, 30, 40 и 50 см). Дополнительно использовались водобалансовые лизиметры с монолитами ненарушенного сложения. Расчёт водного баланса выполнялся по уравнению:

$$\Delta W = Oc + m \pm q - E,$$

где ΔW —влагозапасы; Oc — атмосферные осадки; m — поливная норма; ±q — водообмен с нижележащими горизонтами; E — суммарное водопотребление [1].

Сумма осадков за вегетацию в 2022–2024 гг. составила 198, 261 и 238 мм соответственно, оросительные нормы 172, 135 и 153 мм. Суммарное испарение варьировало от 229 до 257 мм, инфильтрационный сток – от 121 до 168 мм/год.

На варианте с высокой влажностью (0,9–1,0 НВ) водопотребление достигало 243 мм/год, на среднем уровне (0,8–0,9 НВ) – 232–240 мм/год, на пониженном – 202–212 мм/год. Контроль показал наименьшее водопотребление (151–177 мм) и выраженный влагодефицит.

Анализ продуктивности и водопотребления выявил, что режим поддержания влажности на уровне 0,8–0,9 НВ обеспечивает оптимальное соотношение «урожайность/водопотребление». Данный вариант обеспечил прибавку урожая на 35–47% при экономии поливной воды на 15–22% относительно режима 0,9–1,0 НВ. При этом формируется стабильный инфильтрационный режим без переувлажнения корнеобитаемого слоя, что минимизирует риск выноса питательных веществ и развития корневых гнилей.

В результате проведенных исследований были получены следующие выводы: водно-балансовый подход позволяет с точностью ±10% прогнозировать потребность белокочанной капусты в орошении на дерново-подзолистых почвах Нечернозёмной зоны; оптимальный режим поддержания влажности почвы на уровне 0,8–0,9 НВ обеспечивает максимальную рентабельность производства за счёт баланса между продуктивностью культуры и расходом водных ресурсов; применение капельного орошения снижает непродуктивные потери влаги на 25–30% по сравнению с традиционными способами полива и минимизирует риск

переувлажнения корнеобитаемого слоя; разработанная расчётная методика, адаптированная к агроклиматическим условиям Центрального района, рекомендована к использованию при проектировании мелиоративных систем овощеводческих хозяйств.

Библиографический список

1. Пчелкин, В.В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв на их плодородие при выращивании моркови столовой / В.В. Пчелкин, С.О. Владимиров, О.М. Кузина // Природообустройство. – 2018. – № 5. – С. 92-97. – DOI 10.26897/1997-6011/2018-5-92-97. – EDN YRRVDN.
2. Пчёлкин, В.В. Анализ водных балансов зоны аэрации при производстве белокочанной капусты / В.В. Пчёлкин, Е.А. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – № 5. – С. 35-38. – DOI 10.32962/0235-2524-2025-5-35-38
3. Пчелкин, В.В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв водоразделов на урожайность многолетних трав / В. В. Пчелкин, М. А. Никитина // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 14-17. – EDN RQREQT.
4. Dubenok, N.N. Effects of drip irrigation regimes on growth, quality plum seedlings, and water use efficiency in European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября – 04 2020 года. Vol. 1679. – Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52093. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/5/052093. – EDN IVQDBL.
5. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX.
6. Dubenok, N.N. Properties of sod-podzolic soil in European Russia with drip irrigation of the fruit nursery / N. N. Dubenok, A. V. Gemonov, A. V. Lebedev [et al.] // International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science" (AEES 2021), London, Virtual, 27–29 октября 2021 года. Vol. 1010. – London: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012108. – DOI 10.1088/1755-1315/1010/1/012108. – EDN DNSJNQ.

УДК 631.674.6 (470.0)

КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ САЖЕНЦЕВ ДЕКОРАТИВНОЙ ЯБЛОНИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Канадин Олег Владимирович, *аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, dmutnykh@bk.ru*

Научный руководитель: ***Дубенок Николай Николаевич****, академик РАН, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ndubenok@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В данной статье представлено научно-техническое обоснование режимов капельного орошения саженцев декоративной яблони (Malus spp.) в условиях Центрального Нечерноземья. Проанализированы особенности водопотребления культуры и её физиологическая реакция на дефицит влаги в специфических почвенно-климатических условиях региона. Установлены оптимальные параметры мелиоративного воздействия.*

Сформулированы практические рекомендации по назначению поливных норм и кратности увлажнения в зависимости от возраста насаждений и метеорологических факторов.

Ключевые слова: *капельное орошение, декоративная яблоня, Центральное Нечерноземье, водный режим почвы, норма полива, саженцы, мелиорация, приживаемость.*

Декоративная яблоня является одной из наиболее перспективных культур для городского и пригородного озеленения благодаря высокой эстетичности, разнообразию форм кроны и относительной зимостойкости. Однако реализация биологического потенциала посадок в условиях Центрального Нечерноземья (ЦНЗ) сопряжена с рядом агроклиматических рисков.

Регион характеризуется избыточным увлажнением в холодный период, что может приводить к временному застою воды и выпреванию, и крайне неустойчивым увлажнением в вегетационный период. Периоды засухи, сменяющиеся ливневыми осадками, создают условия водного стресса для растений. Это затрудняет формирование устойчивых, хорошо облиственных насаждений, особенно на этапе приживаемости и активного формирования корневой системы молодых саженцев [6, 7].

Капельное орошение рассматривается как наиболее эффективный инструмент мелиорации в декоративном питомниководстве по ряду причин [2]: локальность и точность: вода подается непосредственно в корнеобитаемый слой, что минимизирует потери на испарение и сток; регулируемость: возможность поддержания влажности почвы в узком оптимальном диапазоне; технологичность: сочетаемость полива с внесением растворимых удобрений, что ускоряет развитие саженцев.

Научное обоснование режима капельного орошения требует учета взаимодействия агроклиматических факторов, водно-физических свойств почв и биологических циклов развития декоративных форм яблони.

Цель данной статьи – проанализировать современный научный опыт по капельному орошению древесных культур и, в частности, яблони, оценить особенности водопотребления и реакции на дефицит влаги, а также сформулировать подходы к обоснованию режима капельного орошения саженцев декоративной яблони в условиях Центрального Нечерноземья [4, 5].

Особенности водопотребления и режимов орошения яблони в умеренной зоне. Ряд исследований посвящен определению водопотребления и режимов орошения яблони в условиях умеренного и умеренно-континентального климата, в том числе в России, Польше, Германии и Канаде.

Для декоративных насаждений, в отличие от плодовых, ключевыми критериями эффективности орошения являются не показатели урожайности, а поддержание тургора листьев, сохранение типичной окраски листовой пластинки и темпов прироста побегов. Наибольшее водопотребление яблони приходится на период с конца мая до середины августа – фазы наиболее интенсивного роста побегов и формирования фотосинтетического аппарата.

Дефицит влаги приводит к снижению интенсивности фотосинтеза, уменьшению проводимости устьиц и замедлению морфогенеза. У саженцев в первые годы жизни недостаток воды провоцирует усыхание верхушек, формирование изреженной кроны и значительное снижение зимостойкости из-за недобора питательных веществ. Избыточное увлажнение, особенно на тяжелосуглинистых и слабо дренированных почвах ЦНЗ, вызывает гипоксию корней, развитие гнилей и угнетение общего состояния растений [1, 3].

При проектировании режима капельного орошения для саженцев в ЦНЗ необходимо руководствоваться следующими принципами: учет почвенных условий, преобладание почв легкого и среднего гранулометрического состава с ограниченной влагоемкостью требует дробных и частых поливов; глубина увлажнения: у саженцев 1-3 лет основная масса активных корней сосредоточена в слое 0-30(40) см., промачивание глубже 60 см нецелесообразно и может вести к вымыванию питательных веществ; целевой порог влажности: поддержание влажности на уровне 70-85% от наименьшей влагоемкости (НВ).

На основе анализа научно-исследовательских данных сформулированы следующие параметры поливного режима: в условиях атмосферной засухи (Т > 25-27 °С, отсутствие осадков) – ежедневный полив в объеме 2-4 л на растение; при умеренных температурах (20-24 °С) – полив раз в 2-3 дня по 4-6 л на растение; при выпадении значительных осадков (>15-20 мм) полив приостанавливается до снижения влажности почвы до нижнего порога (70% НВ); сезонная норма составляет 150-250 л на растение, что эквивалентно 2000-3000 м³/га (в зависимости от плотности посадки); использование 1-2 капельниц (расход 2-4 л/ч) на расстоянии 20-30 см от штамба. По мере развития кроны и корней капельницы смещаются на периферию (до 40-50 см).

Дифференциация режима орошения по возрасту посадок:

1. Первый год: период максимальной чувствительности. Необходимо поддерживать влажность 75-85% НВ в верхнем слое (0-30 см). Критически важен регулярный полив в первые 2-3 недели после посадки и проведения обрезки.

2. Второй-третий годы: зона увлажнения расширяется до 0-40 см, целевая влажность – 70-80% НВ. Кратность полива – раз в 1-3 дня.

3. Старше четырех лет: сформированные деревья более устойчивы; допускается снижение влажности до 65% НВ вне критических фаз. Основное внимание уделяется периодам закладки цветочных почек.

Эффективность капельного орошения повышается при использовании оперативного контроля влажности почвы (тензиометры, влагомеры) на глубинах 10, 20 и 30 см. При грамотном проектировании и обслуживании системы КО срок ее службы составляет 8–10 лет и более, что оправдывает первоначальные затраты.

Анализ отечественных исследований показывает, что капельное орошение является наиболее эффективной системой увлажнения для саженцев декоративной яблони в условиях Центрального Нечерноземья. Специфика климата региона (неустойчивое увлажнение, периоды засухи в фазу интенсивного роста), а также особенности дерново-подзолистых и урбанизированных почв (низкая влагоемкость, уплотнение, плохой дренаж) обусловливают необходимость целенаправленного регулирования водного режима почвы.

Обоснованный режим капельного орошения должен обеспечивать: поддержание влажности в корнеобитаемом слое 0-30(40) см на уровне 70-80% НВ в основные фазы роста; использование частых поливов малыми нормами (ежедневно или через 1-3 дня в засушливые периоды) с суммарным сезонным расходом воды порядка 150-250 л на саженец (2000-3000 м3/га при обычной плотности посадки); адаптацию поливных норм к возрасту растений, типу почвы и фактическим погодным условиям; сочетание полива с корневым внесением удобрений, что улучшает декоративные и физиологические показатели саженцев.

Библиографический список

1. Бебия С.М. Капельное орошение при выращивании посадочного материала и озеленении объектов ландшафтной архитектуры / С.М. Бебия, С.Н. Кружилин, Т.Ю. Баранова, Д.А. Дубовой // Проблемы природоохранной организации ландшафтов: Материалы Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 24–27 декабря 2018 года. – Новочеркасск: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2018. – С. 6-20. – EDN ZGZZVJ.
2. Бербеков, В.Н. Улучшение плодородия почвы средствами локального воздействия при выращивании саженцев косточковых культур / В.Н. Бербеков, З.П. Ахматова, М.И. Ашинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 69. – С. 349-357. – EDN NUSBVV.
3. Дустназарова, С.А. Капельное орошение в контексте водосберегающих технологий / С.А. Дустназарова // Academy. – 2020. – № 4(55). – С. 29-31. – EDN DMKPVB.
4. Дубенок, Н.Н. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В.

Лебедев // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 4. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037. – EDN NTSHID.
5. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9-13. – EDN UYXMLO.
6. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев. – Москва: Издательство Проспект, 2023. – 136 с. – ISBN 978-5-392-38124-1. – EDN XBBQEL.
7. Никольская, О.А. Влияние орошения на рост и развитие саженцев косточковых культур в питомнике / О.А. Никольская, Е.Н. Киктева, Н.В. Курапина // Орошаемое земледелие. – 2019. – № 1. – С. 42-45. – DOI 10.35809/2618-8279-2019-1-12. – EDN LPCWXM.

УДК 634.1-15

РОСТ И РАЗВИТИЕ ЧЕРЕШНИ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ ПОСАДКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА КОМБИНИРОВАННОГО ОРОШЕНИЯ

***Гжибовский Сергей Александрович**, старший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», gzhibowsky@ya.ru*
Научный руководитель: ***Дубенок Николай Николаевич**, академик РАН, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ndubenok@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Актуальность исследования обусловлена Постановлением Правительства РФ №872, давшим импульс развитию садоводства. К 2030 году планируется закладка 330 га питомников, что на 17% больше прежних площадей. Для интенсификации отрасли необходимо экологически безопасное и водосберегающее орошение. Наиболее обоснованной технологией для косточковых культур является комбинированный полив (капельный + аэрозольное увлажнение), что делает данное исследование своевременным и актуальным.*

***Ключевые слова:** капельный полив, аэрозольное увлажнение, комбинированная система, черешня, биометрические показатели.*

На сегодняшний день применение передовых научных подходов, включая инновационные системы орошения, является ключевым для повышения качества и объемов производства фруктов и ягод. Экологическая устойчивость в аграрных технологиях также играет критическую роль, поскольку она напрямую влияет на продуктивность и устойчивость садовых культур. Основываясь на научных исследованиях, можно утверждать, что выбор подходящих сортов и тщательный уход за растениями, в сочетании с применением современных агротехнологий, обеспечивают оптимальные условия для роста молодых деревьев и увеличения урожайности [3, 6].

В нынешних условиях климатических изменений и роста требований к устойчивому сельскому хозяйству особое значение приобретает разработка эффективных методов орошения плодовых насаждений. В частности, для молодого черешневого сада в лесостепной зоне Центральной части Нечерноземной области России была впервые предложена инновационная комбинированная технология орошения, которая интегрирует капельный полив и мелкодисперсное увлажнение. Эта методика направлена на комплексное поддержание оптимального водного баланса как в почве, так и в приземном слое воздуха у растений в течение всего периода вегетации.

В основе исследуемой комбинированной системы полива лежит автоматизированная система, которая обеспечивает точное и оперативное управление влажностью почвы и микроклиматом надземной части черешневого сада. Капельный полив позволяет поддерживать влажность почвы на уровне 70–90%НВ в верхнем слое почвы глубиной до 30 см, что является критически важным для формирования корневой системы и обеспечения растения необходимой влагой. Одновременно аэрозольное увлажнение способствует регулированию влажности приземного слоя воздуха в диапазоне 53–78%, создавая благоприятные условия для фотосинтеза, газообмена и снижения стрессовых факторов, связанных с засухой и высокой температурой [4, 5, 7].

Исследуемый участок, занимающий площадь в один гектар, находится на территории хозяйства «Коломенская ягода» специализирующееся на выращивании ягодных и плодовых культур в Московской области, опытный участок находится в северной части области в Коломенском районе, удалённый на 15 км от города Коломна. Этот район, расположенный к юго-западу от Москвы, включён в бассейн рек Москва и Ока и находится в Мещерской низине.

В период проведения исследований нами активно изучались различные факторы, влияющие на развитие молодых косточковых культур. Особое внимание было уделено анализу климатических условий, таких как количество осадков и температурные показатели. Для этого использовались данные, собранные на опытном участке в предшествующие годы, а также на метеорологической станции в поселке Радужный, расположенном в 10 км от места проведения исследований.

В рамках исследования для определения наименьшей влагоемкости из различных слоев на опытном участке собирались почвенные пробы, которые затем доставлялись в лабораторию. В лабораторных условиях использовался собранный образец почвы весом от 12 до 15 граммов, который предварительно высушивался до состояния воздушно-сухого. Далее, этот сухой почвенный материал тщательно распределялся на плотной бумаге и измельчался до получения порошкообразной консистенции, при этом важно было добиться равномерности фракционного состава.

В исследовании, для определения максимальной влагоемкости почвы использован метод капельного добавления воды. Используя пипетку с калибровкой до 0,1 см³, вода вводилась в почвенный образец медленно, чтобы можно было точно наблюдать за её абсорбцией. Когда на поверхности образца появлялась не впитывающаяся капля воды, это указывало на достижение почвой её насыщения водой. Важно отметить, что в ходе опыта предполагалась постоянная плотность воды в 1 г/см³, а изменения атмосферной температуры не влияли на этот параметр. Этот этап являлся завершающим в определении водопоглощающей способности исследуемого почвенного образца (таблица 1).

Таблица 1

Водно-физические свойства профиля почв на участке исследований в начале вегетационного периода

Генетический горизонт, см	Объёмная масса, г/см^3	Удельная масса, г/см^3	Порозность почвы, %	НВ	МГ	ВЗ, %
				% от объёма почвы		
An, 0 - 8	1,36	2,70	49,6	42,0	7,5	11,3
AnB1, 8 - 21	1,37	2,62	47,7	38,3	7,9	11,9
B1, 21 -35	1,55	2,67	41,9	36,1	4,1	6,2
B2, 35 - 48	1,63	2,64	38,3	33,0	7,8	11,7
B2C1, 48 - 60	1,56	2,68	41,8	32,9	11,3	17,0
C1, 60 - 82	1,63	2,69	39,4	23,1	10,5	15,8
C2, 82 - 130	1,68	2,69	37,5	18,5	7,3	11,0

Исследование выбрано двухфакторным, охватывающее анализ биометрических показателей молодого черешневого сада в первый год посадки. Опыт был заложен в соответствии с методикой Доспехова Б.А. «Методика полевого опыта с основами

статистической обработки результатов исследований» [2]. В процессе исследований были использованы 20 рядов черешни сортов Гостинец и Жуковская, каждый из которых имел длину 100 метров, с интервалом в 0,7 м между деревьями и 1,2 м между рядами, что обеспечило среднюю плотность посадки 11 900 деревьев на гектар. Участки были разделены на четыре делянки с различными условиями увлажнения почвы: первая делянка поддерживала влажность в пределах 60-80% НВ, вторая - 70-90% НВ, третья - 80-100% НВ, и четвертая делянка служила контрольной - богара. Всего на каждом участке было высажено порядка 3,0 тыс. шт. молодых деревьев.

В проведении исследований на опытном участке, была использована комбинированная система для полива молодых черешневых деревьев включающая капельный полив и мелкодисперсное увлажнительное дождевание. Полученный опытным путем расход воды для полива составил 29,76 кубических метров в час на гектар. Этот объем подаваемой оросительной воды на опытный участок способствует эффективному увлажнению почвы и поддержанию микроклимата надземной части растений, что способствует повышению биометрических показателей растений в первый годы после посадки.

В ходе исследований установлено, что в условиях, когда почва содержит повышенный уровень влажности, наблюдается усиленное потребление воды растениями. Это требует более частых поливов, что, в свою очередь, приводит к повышению нормы орошения. В таблице 2 приведены данные о средних объемах, количестве и межполивном периоде в первые годы после посадки саженцев черешни [1].

Таблица 2

Характеристика режимов орошения в первый год после посадки черешни

Вариант опыта	Оросительная норма, $м^3$/га	Средняя поливная норма, $м^3$/га	Количество поливов, шт.	Межполивной период, день
60–80 % НВ	597,9	33,2	18	7
70–90% НВ	791,1	39,6	20	8
80–100% НВ	831,5	37,8	22	6
Аэрозольное увлажнение	8,4	0,27	31	7 - 12

В ходе исследований влияния режимов орошения комбинированной системы полива на биометрические показатели в первые годы после посадки черешни выявлено, что капельное орошение позволяет значительно уменьшить использование водных ресурсов по сравнению с дождеванием. Использование комбинированной системы на третьем варианте опыта при поддержании влажности 70-90% НВ не только способствует более эффективному и равномерному увлажнению почвы, но и обеспечивает поддержание необходимой влажности в приземном слое воздуха, что критически важно для культур, таких как черешня, особенно в условиях критически напряженных периодов рисунок 1.

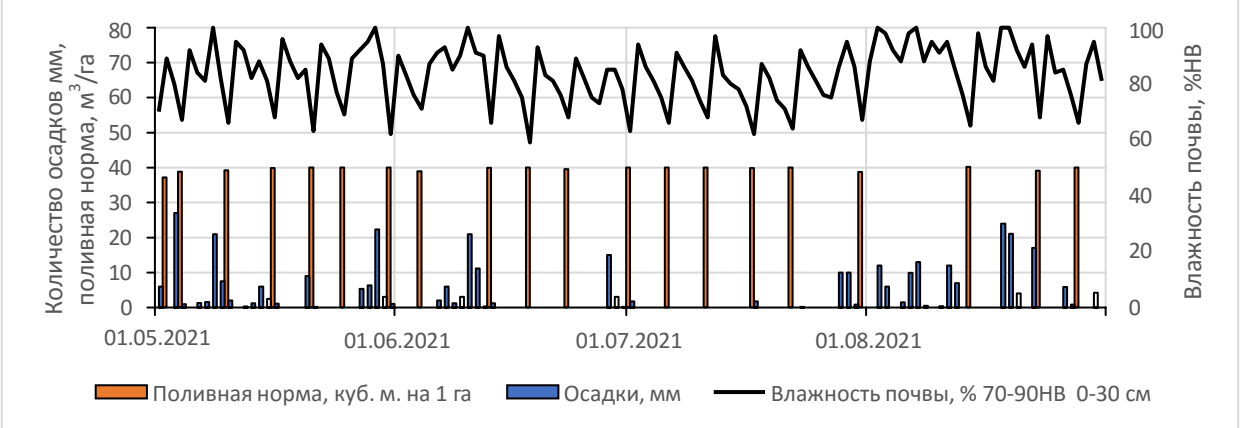


Рис. 1 Динамика влажности почвы 0–30 см и режим орошения комбинированной системы при поливе молодых деревьев черешни в III варианте опыта (70-90% НВ)

Использование различных режимов орошения в первые годы после посадки черешни показало значительное увеличение размеров саженцев по сравнению с контрольной группой, где орошение не применялось. Так, при уровне влажности почвы 60-80% от нормы влажности (НВ), диаметр штамба увеличился на 28% (0,83 см), а высота деревьев — на 6% (12 см). При увеличении влажности до 70-90% НВ, прирост диаметра штамба составил 36% (1,22 см), а высоты — 19% (40 см). Наибольший прирост, как диаметра штамба, так и высоты деревьев, наблюдался при влажности 80-100% НВ, где диаметр штамба увеличился на 44% (1,66 см), а высота — на 25% (58 см). Эти данные подтверждают эффективность исследуемой комбинированной системы орошения для увеличения роста и развития черешни в первые годы после посадки в Центральной части Нечерноземной зоны России.

Исследование показало, что различные режимы орошения значительно влияет и на рост листовой площади черешни. Сравнительный анализ различных вариантов опыта выявил, что при увлажнении в пределах 60-80% НВ наблюдалось увеличение листовой площади на 28%, достигая 23 см. При уровне влажности 70-90% увеличение составило 32% (28 см), а при 80-100% - 34% (31 см). Полученные данные показывают, что контроль за уровнем влажности и микроклиматом является ключевым для улучшения биометрических характеристик растений, а также для повышения качества посадочного материала.

Библиографический список

1. Гжибовский, С. А. Разработка комбинированной системы с аэрозольным орошением для черешневого осада и его водный режим в условиях Центральной части Нечернозёмной зоны России / С. А. Гжибовский // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова : сборник статей, Москва, 06–08 июня 2022 года. Том 1. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 48-52. – EDN VPSGJX.
2. Доспехов, Б. А. Метод полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б. А. Доспехов; под ред. проф. В. Е. Егорова. — Москва: Колос, 1965. — 423 с.
3. Дубенок, Н.Н. Исследование и режим работы комбинированной системы капельного орошения с аэрозольным увлажнением для возделывания черешневого сада / Н.Н. Дубенок, С.А. Гжибовский, А.В. Гемонов // Овощи России. – 2024. – № 6. – С. 128-136. – DOI 10.18619/2072-9146-2024-6-128-136. – EDN UXAOVC.
4. Дубенок, Н.Н. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 4. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037. – EDN NTSHID.
5. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9-13. – EDN UYXMLO.
6. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев. – Москва: Издательство Проспект, 2023. – 136 с. – ISBN 978-5-392-38124-1. – EDN XBBQEL.
7. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd,

Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 82014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014. – EDN TMTTRX.

УДК 630.181.65:582.475.4(47)

ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ И ЛОКАЛЬНЫЕ АДАПТАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Лебедев Александр Вячеславович, *д.с.-х.н., доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, РФ, alebedev@rgau-msha.ru*

Аннотация: *результаты испытаний географических культур имеют важное значения для изучения реакции популяций на изменение климатических условий. На примере сосны обыкновенной показано, что использование фенотипической пластичности и локальных адаптаций позволяет разрабатывать эффективные стратегии по сохранению и повышению устойчивости лесов в условиях прогнозируемых изменений климата.*

Ключевые слова: *фенотипическая пластичность, локальные адаптации, генотип, фенотип, изменение климата, климатически оптимизированное лесное хозяйство.*

Совокупность потребностей вида в ресурсах и условиях среды, которые определяют его выживаемость в пределах ареала, называется экологической нишей. Фундаментальная ниша – это полный диапазон условий окружающей среды, которые вид может занимать и использовать при условии отсутствия ограничивающих факторов. Реализованная ниша – это, как правило, часть фундаментальной ниши, ограниченная действием разнообразных факторов и которую вид занимает фактически.

Происходящие изменения климата вызывают смещение климатической ниши от занимаемых ранее географических областей. Из-за длительного жизненного цикла и медленной миграции лесных деревьев смещение приводит к несоответствию между климатом, к которому адаптирован вид, и климатом, с которым он столкнется в будущем (рис. 1). Таким образом, применительно ко многим видам деревьев в различных частях ареала приобретает актуальность проблема их адаптации к климатическим условиям будущего [1].

К основополагающим механизмам, определяющим способность лесных деревьев выживать в изменяющемся климате, относятся фенотипическая пластичность и локальные адаптации (рис. 2). Фенотипическая пластичность позволяет одному генотипу формировать различные фенотипы в ответ на изменения окружающей среды. Локальные адаптации относятся к популяциям, которые под влиянием естественного отбора демонстрируют лучшую приспособленность к местным условиям. Скорость климатических изменений выше, чем возможности генетической адаптации. Фенотипическая пластичность позволяет популяциям быстро адаптироваться к новым условиям, выигрывая время для возможных последующих генетических адаптаций [2].

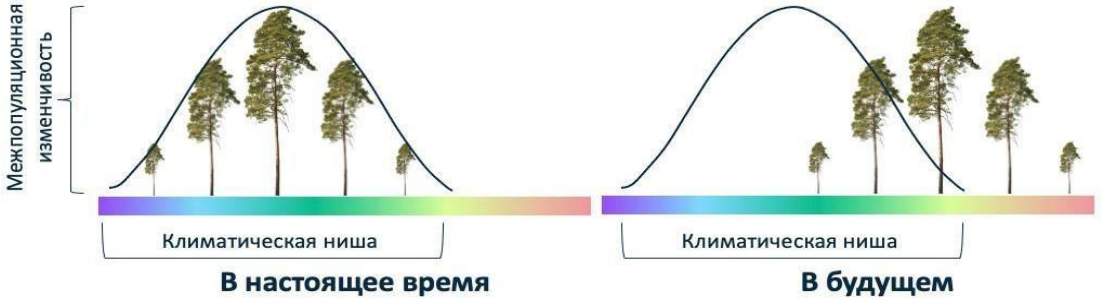


Рис. 1. Несоответствие между климатической нишей вида в прошлом и при будущих изменениях климата

Решающее значение для понимания механизмов фенотипической пластичности и локальных адаптаций у лесных деревьев имеют эксперименты с географическими культурами [1, 2, 5]. В 1970-ые годы в СССР был заложен уникальный эксперимент по испытанию географических культур сосны обыкновенной, охвативший все лесорастительные районы страны [3]. В настоящее время данные, полученные в результате наблюдений за климатипами в разных испытательных пунктах, имеют важное значения для изучения реакции популяций сосны на изменение климатических условий и могут служить надежной основой для разработки климатически оптимизированного лесосеменного районирования.

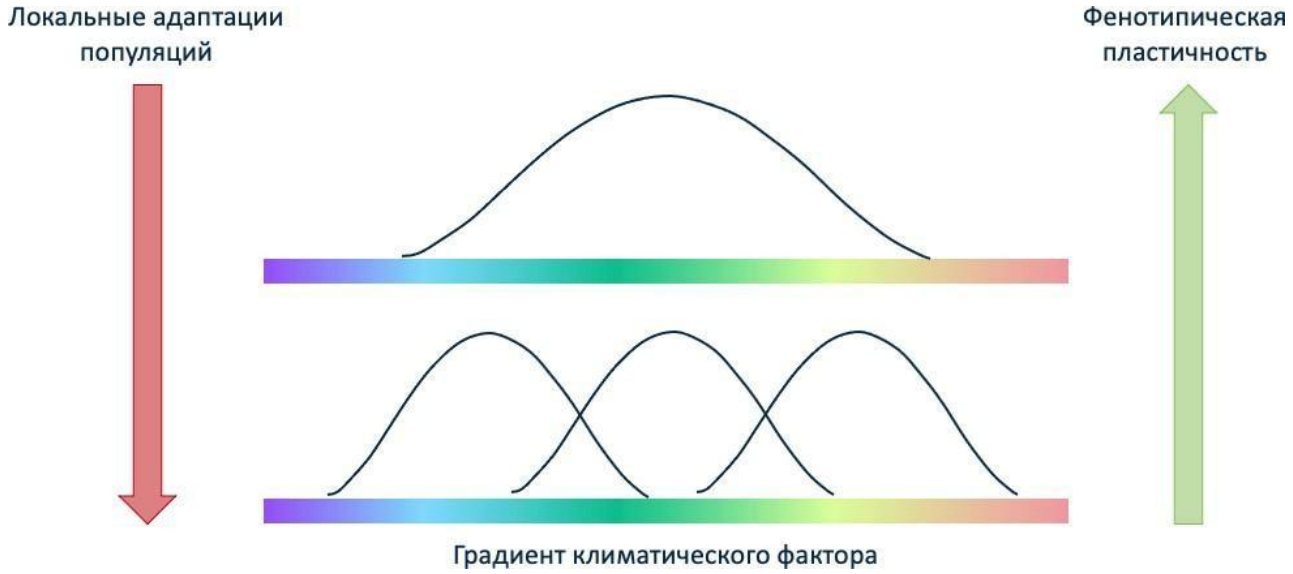


Рис. 2. Влияние фенотипической пластичности и локальных адаптаций вида на межпопуляционную изменчивость

В исследовании использованы данные испытаний происхождений в географических культурах сосны Всесоюзного эксперимента 1970-ых годов, опубликованные в работе A.M. Shutyaev и M. Giertych в 1997 году [7], а также результаты проведения эксперимента в Венгрии, заложенного в 1978-1979 годы из семян программы ВНИИЛМ [6]. Общее количество экспериментальных участков, отобранных для исследования, составило 26, а количество мест происхождения семян – 71 (все западнее 60° в.д.). Возраст культур, для которого представлены данные о высотах в экспериментах программы ВНИИЛМ составил 11-18 лет, а для участков в Венгрии – 17-23 года. Чтобы минимизировать влияние возраста, в работе использовались не значения высот, а средние годовые приросты.

Для мест происхождения семян и экспериментальных источников климатические переменные были получены из глобальной климатической базы данных Chelsa v. 2.1 [4]. Отбор переменных показал, что главным климатическим фактором, определяющим фенотипическую дифференциацию популяций сосны по среднему годовому приросту в высоту в молодом возрасте, является средняя температура воздуха в июне. Фенотипическая пластичность определяется средним суточным диапазоном температур воздуха и средней температурой воздуха в июне. Универсальная функция реакции (URF) прироста популяций в высоту от средней температуры июня (R^2 = 0,753) мест происхождения семян и экспериментальных участков показана на рис. 3.

Прогнозные расчеты показали, что северные популяции демонстрируют наибольшую устойчивость к изменению климата. Таким образом, сосновые леса, расположенные в северной части бореальной зоны, могут получить выгоды от изменения климата, которое произойдет в ближайшие 50-70 лет. Прогнозы показывают, что к середине-концу XXI века популяции к югу от 55° с.ш. станут уязвимыми к неоптимальным климатическим условиям, а на южных границах восточноевропейского ареала им угрожает вымирание.

Прогнозы накопления углерода местными популяциями показывают, что в северной и средней бореальной зоне потенциал накопления углерода увеличится при всех климатических сценариях, в то время как в умеренной и степной зонах снижение темпов роста и даже локальное исчезновение частично превратят сосновые насаждения в источники выбросов CO_2.

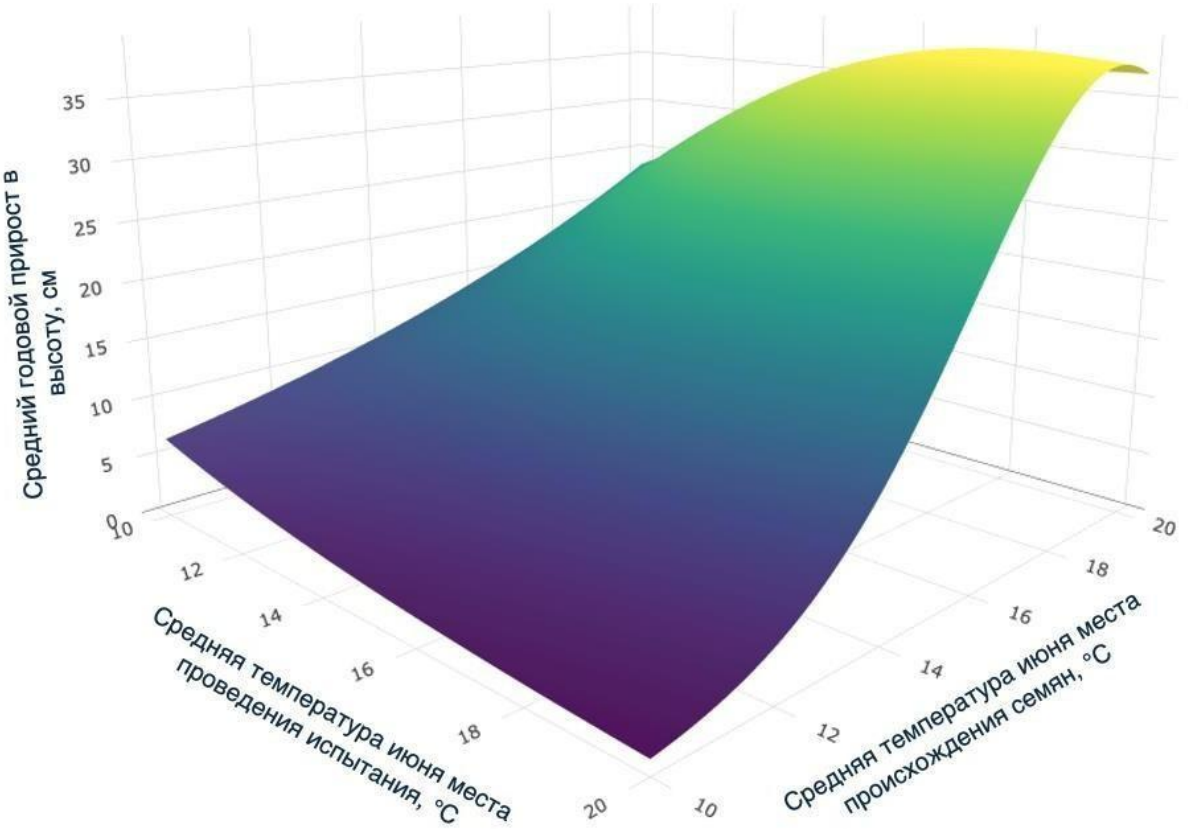


Рис. 3. Универсальная функция реакции прироста популяций в высоту от средней температуры июня (R^2 = 0,753)

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует, что в лесах европейской части России в условиях изменения климата требуется внедрение стратегий ведения лесного хозяйства по широтному градиенту. В таежной зоне сосновые леса до конца XXI века продолжат выполнять свои ресурсные и углерододепонирующие функции. Для сохранения сосны в южных районах требуется пересмотр лесосеменного районирования с целью переброски семян климатипов, эволюционно адаптированных к более теплым и засушливым условиям. Использование механизмов фенотипической пластичности и локальных адаптаций популяций позволяет разрабатывать эффективные стратегии по сохранению и повышению устойчивости сосновых лесов в условиях прогнозируемых изменений климата.

Библиографический список

1. Лебедев А.В. Методы моделирования реакции деревьев на климатические изменения по данным испытаний географических культур / А.В. Лебедев // Сибирский лесной журнал. – 2025. – № 2. – С. 3-19. – DOI: 10.15372/SJFS20250201.
2. Лебедев А.В. Оптимальное и критическое расстояние использования семян географических культур сосны обыкновенной в зону хвойно-широколиственных лесов / А.В. Лебедев, К.И. Двойченков // Лесоведение. – 2025. – № 3. – С. 388-408. – DOI: 10.31857/S0024114825030082.
3. Лесные генетические ресурсы России: изучение, сохранение, использование, управление: коллективная монография в двух книгах / Отв. ред. М.М. Паленова. –

Книга 1. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2024. – 546 с.– DOI: 10.24419/978-5-94219-313-3.2024.1-546.
4. Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas / D.N. Karger, O. Conrad, J. Böhner, T. Kawohl, H. Kreft, R.W. Soria-Auza, N.E. Zimmermann, P. Linder, M. Kessler // Scientific Data. – 2017. – No. 4. – P. 170122. – DOI: 10.1038/sdata.2017.122.
5. Lebedev A. Effect of climate change on height growth and carbon storage of Eastern European Scots pine populations / A. Lebedev, C. Mátyás // European Journal of Forest Research. – 2025. – Vol. 144, No. 6. – P. 1597-1611. – DOI: 10.1007/s10342-025-01828-8.
6. Mátyás C. Evaluation of Soviet Scots pine populations at early age / C. Mátyás, L. Harkai // Agrártudományi Közlemények. 1982. – Vol. 41, No. 3. – P. 543-548. (In Hungarian)
7. Shutyaev A.M. Height Growth Variation in a Comprehensive Eurasian Provenance Experiment of Scots Pine (Pinus sylvestris L.) / A.M. Shutyaev, M. Giertych // Silvae Genetica. – 1997. – Vol. 46. – P. 332-349.

УДК 630*1(470.311)

ОСОБЕННОСТИ НИЖНИХ ЯРУСОВ БЕРЁЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ИСТРИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Лексашов Сергей Александрович, *аспирант Института лесоведения РАН, leksashovsergey@yandex.ru*

Аннотация: *в статье рассматриваются особенности структуры и динамики нижних ярусов берёзовых фитоценозов на территории Истринского лесничества Московской области. Установлено, что процесс смены производных берёзовых насаждений протекает крайне неравномерно и напрямую зависит от почвенно-гидрологических условий участка.*

Ключевые слова: *берёзовые фитоценозы, нижние ярусы леса, сукцессия, тип лесорастительных условий, подрост.*

Насаждения с преобладанием берёзы занимают на территории Московской области 40,6% площади лесов и обеспечивают 36,8% от общего запаса насаждений области. Их преобладание обусловлено процессами смены пород после гибели насаждений в результате вспышки численности короеда типографа и лесных пожаров и последующего зарастания вырубок и гарей [1].

В условиях региона берёзовые фитоценозы, как правило, представляют собой временные, производные сообщества. Их экологическая ценность определяется не только характеристиками древостоя, формирующих верхние ярусы насаждения, но и динамикой нижних ярусов, находящихся под пологом древостоя. Подрост, подлесок и живой напочвенный покров обуславливают направление сукцессионных процессов и уровень биоразнообразия лесных экосистем [2].

В отсутствие внешних воздействий процессы естественной динамики идут в направлении восстановления коренных типов леса: черничных и кисличных ельников в лесах флювиогляциальной равнины и сложных ельников с липой в лесах моренной равнины [3, 4].

Целью данного исследования является выявление особенностей структуры нижних ярусов берёзовых фитоценозов в условиях Московской области и рассмотрение возможных направлений их дальнейшего развития.

Объектами исследований стали древостои с преобладанием берёзового элемента леса на примере территорий Истринского лесничества Московской области. В ведении лесничества находятся лесные участки на территории городских округов Истра, Клин, Руза, Красногорск, Одинцово, Солнечногорск и Химки. По данным лесоустройства 2015 года общая площадь Истринского лесничества составила 103802 га.

Исследование проводилось на пяти пробных площадях, заложенных в различных типах лесорастительных условий. Для комплексной оценки произведен сбор данных по четырём основным компонентам лесного биогеоценоза (древостой, подрост, подлесок и живой напочвенный покров).

Полевые работы проведены визуально-инструментальным методом, включающим таксацию березовых фитоценозов методом сплошного перечета и определением средних показателей, количества и качественной характеристики подроста и подлеска, определения видового состава и обилия травяного покрова: определялась на местах исследования путём регистрации встречаемости и обилия отдельных видов растений.

В результате анализа полученных в процессе инструментального обследования данных установлено что рассматриваемые березняки к возрасту спелости формируют сложную структуру с несколькими ярусами. Второй ярус преимущественно представлен в основном елью и широколиственными породами.

Исследуемые пробные площади условно можно разделить на 3 группы по преобладающей породе во втором ярусе: с преобладанием ели (*Picea abies* (L.) H.Karst.), клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) и черёмухи (*Prunus padus* L.) (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика пробных площадей

Характеристика	Участок №1	Участок №2	Участок №3	Участок №4	Участок №5
Тип лесорастительных условий (ТЛУ)	C_2 (субори сложные, свежие)	C_2 (субори, свежие)	C_4 (субори, сырые)	C_2 (субори сложные, свежие)	C_3 (субори, влажные)
Формирование тип леса (прогноз)	Ельник сложный кислично-звездчатковый	Кленовник снытево-недотроговый	Сырой Сероольшаник черемушно-крапивный/ гравилатовый	Ельник-черничник сложный	Влажный Ельник-кисличник
Состав древостоя (1 ярус)	7Б2Е1В+Д+Кло+Ос	6Б2Кло1ЛП1Е+Ос+С	5Б2Чр2Ос1Олс	6Б3Е1Ос	5Б4Е1Ос+Олс
Сотав древостоя (2 ярус)	5Б4Е1Кло	5Кло1С1Б1Р1Ос1Е+ИВД+Чр+Лп	5Чр3Б1Олс1Д+Р+ОС+ИВД	8Е2Б+Д	7Е3Б
Подрост: Доминирующая порода	Ель / Клен остролистный	Клен остролистный	Ольха серая / Дуб черешчатый	Осина / Береза / Ель	Осина / Ель
Подлесок: густота и состав	Густой. Доминирует лещина.	Редкий. Рябина.	Густой. Доминирует Черемуха.	Густой и богатый. Рябина, лещина, крушина.	Густой и богатый. Рябина, лещина, жимолость.

Анализ подроста на пробных площадях позволяет сделать вывод о том, что процесс смены производных берёзовых насаждений на коренные или более устойчивые типы леса в Истринском лесничестве протекает крайне неравномерно и напрямую зависит от почвенно-гидрологических условий участка. Общее количество подроста варьирует в пределах: от крайне низкой густоты на переувлажнённых участках (2,8 тыс. шт./га) до очень высокой численности в свежих и богатых условиях (81,5 тыс. шт./га), что свидетельствует о разной интенсивности процессов естественного возобновления.

На ПП-1 наблюдается смешанный состав подроста с присутствием как хвойных пород (ель), так и лиственных (клён остролистный, дуб). Клен остролистный является доминантом,

составляя 90% от всего подроста на участке. Он представлен во всех возрастных группах. Данный показатель указывает на непрерывное и массовое семенное возобновление. Присутствие особей в более высоких группах (0,532 тыс. шт./га в группах 0,51–1,5 м и 1,51–3,0 м) подтверждает, что предыдущие поколения подроста успешно выживают и развиваются.

Мощный второй еловый ярус и обильный подрост клёна и ели показывают, что лес стремится вернуться к своему коренному типу — сложному ельнику.

На ПП-2 складывается иная картина. Здесь отмечается абсолютное доминирование подроста клёна остролистного, численность которого достигает 80,6 тыс. шт./га. Подрост клёна остролистного так же представлен во всех возрастных группах, и подавляющее большинство (71,44 тыс. шт./га) — это самые молодые особи (до 0,5 м). Как и в случае с первым участком это говорит о непрерывном, массовом и успешном семенном возобновлении. Присутствие значительного количества особей в группе 1,51–3,0 м (4,72 тыс. шт./га) подтверждает, что предыдущие поколения подроста успешно выживают и развиваются. Присутствие других пород, участвующих в возобновлении данного участка, таких как дуб и липа мало (0,48 тыс. шт./га и 0,40 тыс. шт./га соответственно). Можно сделать вывод, что производный березняк со временем уступит место кленовнику снытевому.

ПП-3 характеризуется сырыми условиями. Общая численность подроста составляет 2,8 тыс. шт./га. Это значение является низким и свидетельствует о неудовлетворительном ходе естественного возобновления. На данных участках смена березняка идёт по пути формирования устойчивых гигрофильных сообществ — серольшаников.

ПП-4 представляет собой пример смешанного возобновления. Здесь конкурируют за господство осина и берёза, однако значимое присутствие ели и клёна в подросте более молодого поколения (до 0,5 м.) сохраняет возможность смены на темнохвойный или смешанный лес, хотя осина может сформировать и устойчивое вторичное насаждение.

ПП-5 характеризуется влажными условиями. Общая численность подроста составляет 6,08 тыс. шт./га. Количество осинового подроста составляет 72% от всей численности подроста, что является подавляющим большинством. Важно отметить её распределение: 3,12 тыс. шт./га. приходится на группу высот 0,51–1,5 м. и 1,28 тыс. шт./га. – на группу до 0,5 м. Это говорит об успешно укоренившихся особях среднего размера.

Таким образом, берёзовые насаждения можно рассматривать в качестве промежуточных стадий формирования коренных типов леса.

Библиографический список

1. Лебедев А.В. Изменения основных таксационных характеристик лесного фонда Подмосковной Мещеры в первой четверти XXI века / А.В. Лебедев, В.П. Захаров, С.А. Коротков // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16, № 1(61). – С. 52-68. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2026.1/4.

2. Лежнев Д.В. Онтогенетическая структура ценопопуляций древесных растений в спелых сосновых насаждениях Москвы / Д. В. Лежнев, А. В. Лебедев // Поволжский экологический журнал. – 2024. – № 4. – С. 471-486. – DOI: 10.35885/1684-7318-2024-4-471-486.

3. Леса Западного Подмосковья. – Москва: Наука, 1982. – 236 с.

4. Киселева, В. В. 2019. Динамика типов леса и типов насаждений национального парка «Лосиный остров». / В. В. Киселева // Лесной вестник. Forestry Bulletin, 23(2): 20–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-20-28

УДК 630.453:595.768.24:519.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ТОЛЩИНЕ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ В ПОВРЕЖДЁННЫХ КОРОЕДОМ-ТИПОГРАФОМ ДРЕВОСТОЯХ ПОДМОСКОВЬЯ

Гостева Дарья Юрьевна, *аспирант кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБО ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Аннотация: *в статье представлены результаты исследования структуры отмирающей части еловых древостоев Московской области, повреждённых короедом-типографом. На данных 19 пробных площадей с помощью трёхпараметрической функции Вейбулла и моментного метода построены модели распределения деревьев по толщине для всего древостоя и отдельно для сильно ослабленных, усыхающих и погибших деревьев (3–5 категорий состояния). Установлено, что предложенная модель на основе среднеквадратического диаметра и средней категории санитарного состояния позволяет прогнозировать структуру патологического отпада, что необходимо для оценки объёмов санитарно-оздоровительных рубок.*

Ключевые слова: *короед-типограф, еловые древостои, патологический отпад, Московская область.*

Усыхание еловых лесов в различных частях ареала имеет определенную цикличность, а непосредственной причиной этого явления выступают вспышки массового размножения короеда-типографа в спелых и перестойных насаждениях [1, 2]. Дополнительными факторами, снижающими устойчивость ельников, являются создание лесных культур в непригодных условиях произрастания, упрощенная структура искусственных лесов, климатические изменения [3]. Еловые леса Подмосковья нуждаются в мероприятиях по повышению биологической устойчивости и улучшению санитарного состояния [4, 5], а проводимые в регионе в последнее время санитарно-оздоровительные мероприятия сводятся, главным образом, к сплошным санитарным рубкам [6].

Изучению структуры еловых древостоев Московской области посвящены многие исследования, в которых рассмотрены закономерности распределения растущих деревьев по толщине, выявлены основные типы форм кривых распределения и показана их связь с устойчивостью ельников. Малоизученной остается структура отмирающей части еловых древостоев. В условиях накопления спелых и перестойных еловых насаждений на землях лесного фонда Московской области и периодических вспышек усыхания ельников особую актуальность приобретает изучение таксационной структуры древостоев, поврежденных короедом-типографом, что имеет важное значение при назначении санитарно-оздоровительных мероприятий.

В исследовании использованы данные 19 пробных площадей, заложенных в хвойных насаждениях Московской области, еловые древостои которых характеризуются средними категориями состояния от ослабленных до погибших. На пробных площадях проводился сплошной перечет деревьев по отдельным ступеням толщины и породам с определением категорий санитарного состояния. После перечета у модельных деревьев измеряли диаметр и высоту, возраст определяли при помощи возрастного бурава. Таксационные показатели древостоев определялись в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами.

Для построения моделей распределения деревьев по толщине широкое распространение получило трехпараметрическое уравнение Вейбулла, которое характеризуется высокой гибкостью прогнозируемых кривых, а его параметры имеют биологическую интерпретацию [7]. Функция распределения (1) и плотности вероятности (2) записываются в следующем виде:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right); \quad x \geq 0;\ b,\ c > 0; \qquad (1)$$

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right)\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right); \ x \geq 0;\ b,\ c > 0; \qquad (2)$$

где x — диаметр на высоте груди, см; a — параметр смещения; b — параметр масштаба; c — параметр формы.

При моделировании распределения деревьев по толщине часто применяется моментный метод восстановления параметров, который обеспечивает равенство фактического и прогнозируемого по модели таксационного диаметра древостоя. С использованием этого

метода при известном среднеквадратическом диаметре древостоя вычисление параметров рядов распределения осуществляется по следующему алгоритму: оценка размаха варьирования диаметров деревьев в древостое, оценка первого и второго моментов рядов распределения деревьев по толщине, итеративный поиск параметра *c* трехпараметрической функции Вейбулла из уравнения и вычисление параметра *b* трехпараметрической функции Вейбулла.

Для моделирования рядов распределения деревьев ели в поврежденных короедом-типографом древостоях отдельно рассчитывались вспомогательные регрессионные уравнения для определения параметров функции Вейбулла всего древостоя и отдельно для деревьев 3–5 категорий санитарного состояния (сильно ослабленных, усыхающих и погибших). Качество прогнозов по модели оценивалось при помощи следующих метрик: среднеквадратическая ошибка (MSE); квадратный корень из среднеквадратической ошибки (RMSE); средняя абсолютная ошибка (MAE); среднее смещение ошибок (MBE) — рассчитанных для значений частот, выраженных в процентах, по 4-см ступеням толщины. В ходе анализа данных применялись методы описательной статистики (расчет центральных моментов распределения), регрессионный анализ. Статистические выводы сделаны при p = 0,05.

Результаты оценки качества прогнозирования рядов распределения деревьев ели по ступеням толщины с использованием трехпараметрической функции Вейбулла, параметры которой вычислены по уравнениям связи со среднеквадратическим диаметром, показаны в таблице 1. Предсказанные по модели кривые распределения деревьев по ступеням толщины (4 см) для елового древостоя (1–5 категорий состояния) показывают лучшее соответствие исходным данным, чем для части древостоя, сформированной сильно ослабленными, усыхающими и погибшими деревьями (3–5 категории состояния). В среднем по всем пробным площадям для всего елового древостоя получены следующие значения метрик качества: *MSE* = 58,99, *RMSE* = 7,68, *MAE* = 5,94 и *MBE* = 0,00, — а для деревьев 3–5 категорий состояния: *MSE* = 100,99, *RMSE* = 10,05, *MAE* = 7,34 и *MBE* = 0,00.

Таблица 3

Метрики качества прогнозирования рядов распределения (%) деревьев ели по ступеням толщины

Номер пробной площади	Еловый древостой (1–5 категории состояния)				Сильно ослабленные, усыхающие и погибшие деревья (3–5 категории состояния)			
	MSE	*RMSE*	*MAE*	*MBE*	*MSE*	*RMSE*	*MAE*	*MBE*
1	75,91	8,71	6,01	0,00	77,26	8,79	6,74	0,00
2	105,39	10,27	7,36	0,00	24,10	4,91	3,79	0,00
3	92,25	9,60	7,83	0,00	251,75	15,87	12,48	0,00
4	69,51	8,34	7,44	0,00	123,32	11,10	9,32	0,00
5	65,46	8,09	5,79	0,00	148,58	12,19	9,81	0,00
6	44,42	6,66	5,46	0,00	141,55	11,90	9,49	0,00
7	27,09	5,20	3,96	0,00	28,49	5,34	4,33	0,00
8	160,85	12,68	11,25	0,00	190,26	13,79	12,82	0,00
9	74,40	8,63	7,19	0,00	183,31	13,54	10,21	0,00
10	88,35	9,40	8,19	0,00	257,98	16,06	11,29	0,00
11	64,51	8,03	6,58	0,00	74,70	8,64	7,72	0,00
12	23,10	4,81	4,10	0,00	49,76	7,05	5,88	0,00
13	22,81	4,78	3,87	0,00	14,72	3,84	3,25	0,00
14	28,93	5,38	4,61	0,00	36,59	6,05	5,13	0,00
15	112,83	10,62	8,98	0,00	336,05	18,33	14,95	0,00
16	19,02	4,36	3,22	0,00	18,08	4,25	3,06	0,00
17	62,09	7,88	6,94	0,00	84,74	9,21	8,12	0,00
18	21,22	4,61	3,64	0,00	18,94	4,35	3,71	0,00
19	76,35	8,74	7,46	0,00	252,52	15,89	12,97	0,00
Итого:	58,99	7,68	5,94	0,00	100,99	10,05	7,34	0,00

Визуализация предсказанных по модели кривых распределения сильно ослабленных, усыхающих и погибших деревьев ели (3–5 категории состояния) для различных средних

диаметров (*QMD* от 24 до 36 см) елового древостоя и средних категорий состояния (*СКС* от 2 до 5) показана на рис. 1. С увеличением среднего таксационного диаметра древостоя происходит смещение вершины кривой распределения в более толстые ступени толщины и повышение размаха варьирования (диапазона ступеней толщины от самых тонких до самых толстых деревьев), что подтверждает результаты многочисленных предыдущих исследований для разных лесообразующих пород и лесорастительных условий.

При средней категории санитарного состояния (СКС) = 5 все деревья елового древостоя (100 %) относятся к категориям сильно ослабленных, усыхающих и погибших, при СКС = 4 – 76 %, при СКС = 3 – 54 % и при СКС = 2 – 30 % деревьев. При уменьшении средней категории состояния наблюдается смещение вершины кривой распределения деревьев 3–5 категорий в сторону более толстых ступеней толщины по сравнению с кривой распределения для всего елового древостоя (рис. 1). В целом распределение сильно ослабленных, усыхающих и погибших деревьев по ступеням толщины отражает структуру патологического отпада в еловых древостоях, обусловленного потерей их устойчивости в связи с развитием очагов короеда-типографа.

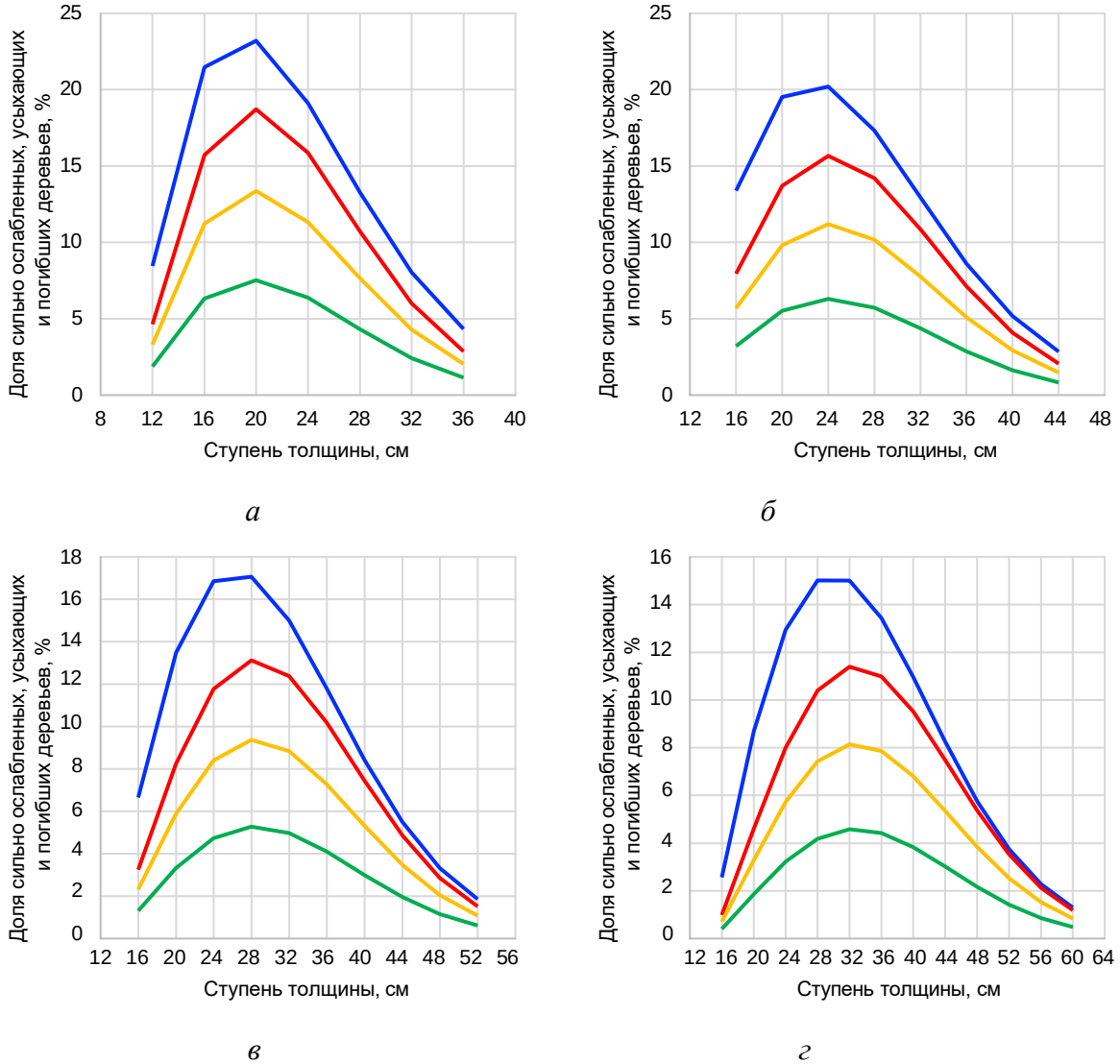


Рис. 1. Прогнозируемые моделью ряды распределения по ступеням толщины (4 см) сильно ослабленных, усыхающих и погибших деревьев при разных средних диаметрах еловых древостоев и средней категории санитарного состояния

(синий цвет — СКС = 5, красный цвет — СКС = 4, желтый цвет — СКС = 3, зеленый цвет — СКС = 2): *а* — *QMD* = 24 см, *б* — *QMD* = 28 см; *в* — *QMD* = 32 см; г — *QMD* = 36 см

Результаты исследования показывают, что разработанная на основе трехпараметрической функции Вейбулла и моментного метода модель позволяет эффективно прогнозировать частоту встречаемости деревьев в поврежденных короедом-типографом еловых древостоях Московской области, используя в качестве входных переменных среднеквадратический диаметр и среднюю категорию состояния. Анализ распределения по толщине деревьев 3–5 категорий состояния показывает структуру патологического отпада, что позволяет оценивать объемы санитарно-оздоровительных мероприятий в еловых древостоях.

Библиографический список

1. Мозолевская Е.Г., Липаткин В.А. Результаты лесопатологического обследования усыхающих ельников в Приокско-Террасном биосферном государственном заповеднике в 2011 г. // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 3. – С. 16–20.

2. Гниненко Ю.И., Хегай И.В. Динамика усыхания еловых лесов в Московском регионе // Лесохозяйственная информация. – 2018. – № 2. – С. 65–74. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.2.07

3. Захаров В.П., Коротков С.А. Динамика лесов восточного Подмосковья и их использование // Матер. Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича. Сборник статей. – М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 144–149.

4. Маслов А.Д., Комарова И.А., Котов А.С. Динамика размножения короеда-типографа в Центральной России в 2010-2013 гг. и прогноз на 2014 г. // Лесохозяйственная информация. – 2014. – № 1. – С. 38–46.

5. Дубенок Н.Н. Динамика показателей земель лесного фонда и санитарного состояния лесов Московской области / Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев, Д.Ю. Гостева // Орошаемое земледелие. – 2024. – № 2(45). – С. 60-67. – DOI: 10.35809/2618-8279-2024-2-10.

6. Желдак В.И., Малахова Е.Г., Прока И.Ю. Совершенствование лесоводственных мер содержания и использования еловых лесов, повышения их устойчивости и снижения отрицательных последствий патологии // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5, № 2(18). – С. 44–65. – DOI: 10.12737/111979.

Лебедев А.В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях // Лесной вестник - Forestry Bulletin. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 53–62. – DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62

УДК 630*165.62

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ВО ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Двойченков Кирилл Игоревич, *аспирант кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, РФ, kirilldv7@mail.ru*
Лебедев Александр Вячеславович, *д.с.-х.н., доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, РФ, alebedev@rgau-msha.ru*

Аннотация: *в статье представлены результаты исследования внутрипопуляционной изменчивости таксационных показателей сосны обыкновенной в географических культурах сосны во Владимирской области. В 2025 году были измерены высоты и диаметры 22 климатипов из различных регионов европейской части СССР. Объемы стволов определены с использованием справочных таблиц. Возраст культур на момент исследования – 49 лет.*

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, географические культуры, Владимирская область.*

Большой интерес для решения различных практических задач лесного семеноводства представляет собой внутрипопуляционная и межпопуляционная изменчивость различных климатипов в географических культурах [1, 3, 5]. Цель исследования – оценка внутрипопуляционной изменчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в испытательных посадках из семян различных регионов в географических культурах Владимирской области.

Географические культуры сосны обыкновенной в Ковровском районе Владимирской области заложены в 1976 году на территории площадью около 30 га [2]. В 2025 году были измерены высоты и диаметры у деревьев из 22 пунктов происхождения семян. Объемы стволов определены по справочным таблицам [4]. Для оценки изменчивости таксационных показателей рассчитаны средняя арифметическая, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Результаты оценки изменчивости высот, диаметров и объемов столов представлены на рис. 1, 2 и 3. На рисунках прослеживается географическая дифференциация климатипов по таксационным показателям. Средние высоты находятся в диапазоне от 16,8 до 27,5 м с коэффициентом вариации от 8,8 до 31,5%. Средние диаметры находятся в диапазоне от 23,8 до 40,8 см с коэффициентом вариации от 13,5 до 33,0%. Средние объемы стволов находятся в диапазоне от 0,5 до 1,3 м^3 с коэффициентом вариации от 32,3 до 66,1%. По увеличению коэффициента вариации рассмотренные таксационные показатели ранжируются следующим образом: высота, диаметр и объем ствола.

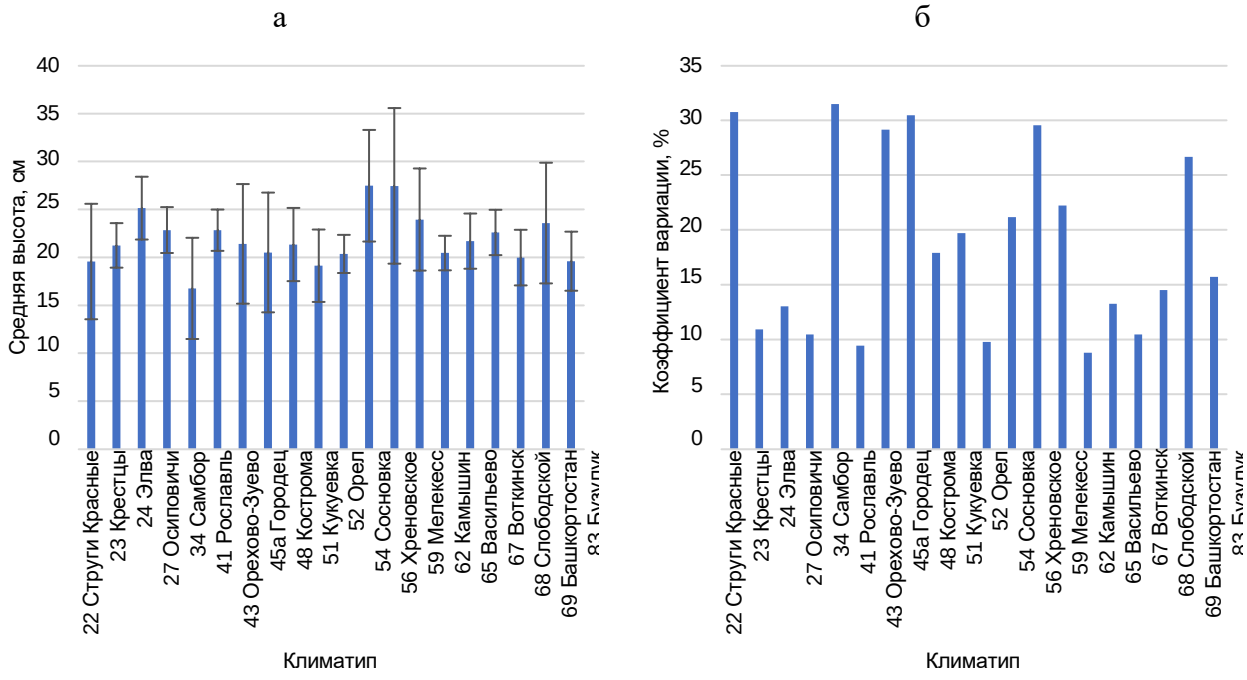


Рис. 1. Изменчивость высот деревьев: а) средняя арифметическая и среднеквадратическое отклонение, б) коэффициент вариации

а б

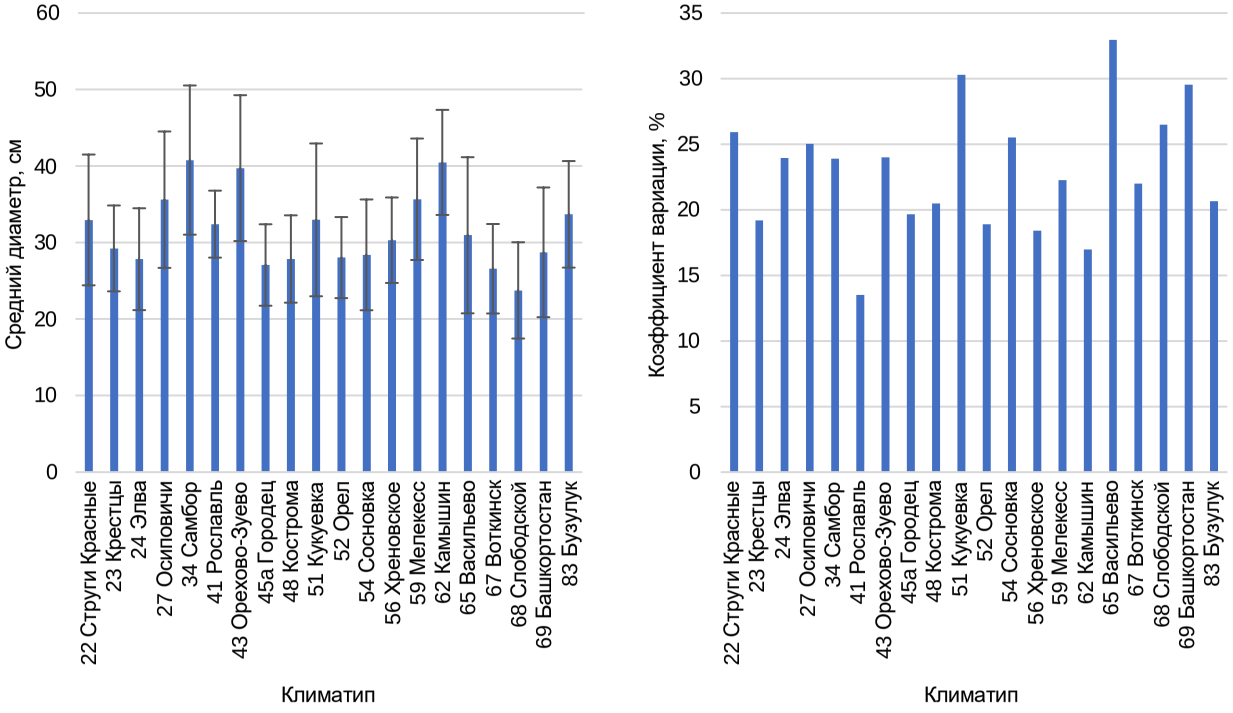


Рис. 2. Изменчивость диаметров деревьев: а) средняя арифметическая и среднеквадратическое отклонение, б) коэффициент вариации

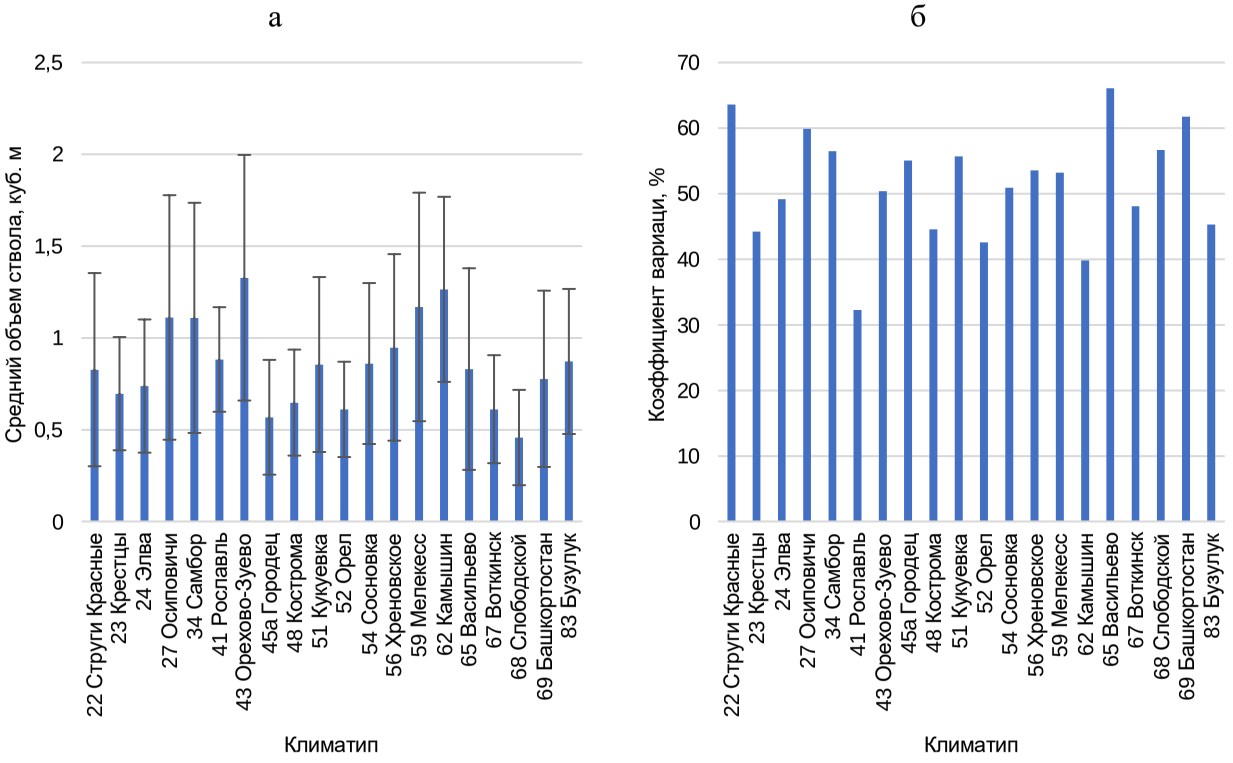


Рис. 3. Изменчивость объемов стволов: а) средняя арифметическая и среднеквадратическое отклонение, б) коэффициент вариации

Проведенное исследование показывает то, что генетические особенности популяций, выращенных в одинаковых почвенно-климатических условиях, приводят к различиям в высоте, диаметре и объеме ствола. Необходимо дальнейшее проведение исследований для выявления адаптационного потенциала популяций сосны в условиях Владимирской области.

Библиографический список

1. Лебедев А.В. Методы моделирования реакции деревьев на климатические изменения по данным испытаний географических культур // Сибирский лесной журнал. 2025. № 2. С. 3-19. DOI: 10.15372/SJFS20250201.
2. Лебедев А.В. Оптимальное и критическое расстояние использования семян географических культур сосны обыкновенной в зону хвойно-широколиственных лесов / А. В. Лебедев, К. И. Двойченков // Лесоведение. 2025. № 3. С. 388-408. DOI: 10.31857/S0024114825030082.
3. Лесные генетические ресурсы России: изучение, сохранение, использование, управление: Коллективная монография в двух книгах / Т.И. Антонова, М.А. Арефьева, Е.В. Банаев [и др.]. Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2024. 546 с. DOI: 10.24419/978-5-94219-313-3.2024.1-546.
4. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР. Москва, 1987.
5. Lebedev A. Effect of climate change on height growth and carbon storage of Eastern European Scots pine populations / A. Lebedev, C. Mátyás // European Journal of Forest Research. 2025. Vol. 144, No. 6. P. 1597-1611. DOI: 10.1007/s10342-025-01828-8.

УДК 630*261:631.6

ВЕТРОВАЯ ТЕНЬ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС С УЧАСТИЕМ *Prunus armeniaca* L. (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Танюкевич Валерий Вадимович, *аспирант кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, valera148te@gmail.com*

Аннотация: *в Ростовской области Prunus armeniaca* L. *в опушках 4-х рядных полезащитных лесополос, с Fraxinus pennsylvanica* M.*, уплотняя конструкцию насаждений в нижней части профиля и увеличивая их мелиоративную эффективность. Длина ветровой тени насаждений в Приазовском ЛМР - 22Н, в Доно-Донецком - 20Н, в Нижне-Донском - 18Н, в Сальско-Манычском ЛМР - 5Н.*

Ключевые слова: *полезащитное насаждение, абрикос, фитонасыщенность, ветровая тень.*

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения устойчивости агроландшафтов в условиях засушливого климата [1]. Современные подходы к агролесомелиорации предполагают использование многофункциональных древесных пород, способных выполнять защитные, экологические и хозяйственные функции [2]. Абрикос обыкновенный обладает рядом ценных свойств: он относительно засухо- и морозоустойчив, малотребователен к почвенным условиям, формирует ценную древесину и имеет пищевое значение. При этом его участие в структуре лесополос может влиять на их аэродинамические характеристики за счёт особенностей кроны и высокой плотности древесной зелени [3].

Цель исследований – установить длину ветровой тени, формируемой полезащитными лесными полосами с участием *Prunus armeniaca* L., определить площадь зон их мелиоративного влияния.

Изыскания проводились в Ростовской области, в период с 2023 по 2025 гг., с учётом лесомелиоративного районирования (ЛМР) [4]. Объектами изучения стали четырехрядные ясенево-абрикосовые полезащитные лесополосы, плотной конструкции, шириной 13–18 м и возрастом около 45–50 лет. В модальных насаждениях было заложено 20 пробных площадей тренировочного типа по ОСТ-56-69-83, на которых проводились таксационные и агролесомелиоративные исследования. Фитонасыщенность лесополос древесной зеленью устанавливали, как отношение её абсолютно сухой массы, полученной термовесовым методом, к надземному объему насаждения [5]. Ветровая тень лесных полос исследовалась на сельскохозяйственных полях (агрофон - чистый пар), примыкающих к модальным лесонасаждениям с западной (заветренной) стороны. Для изучения длины ветровой тени, перпендикулярно лесополосам, были заложены 20 профилей. При помощи метеостанции AQUA – LAB, в июне – августе, в точках учета, удаленных от лесополосы на расстояние, кратное 1H, 2H, 5H, 10H, 20H, 30H и 35H (H – высота насаждения) определялась скорость ветра господствующего восточного румба (V, м/с) в трехкратной повторности. Крыльчатки анемометров располагали над поверхностью поля на высоте, кратной 0,1H. Среднюю относительную скорость ветра находили как отношение скорости в точке наблюдения «i» к скорости ветра на контроле «k» (V_i / V_k) [6]. Анализ данных выполняли в программе «Statistica».

Характеристика полезащитных (ветрорегулирующих) насаждений с участием в составе *Prunus armeniaca* L., приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика полезащитных лесополос с участием *Prunus armeniaca* L. (возраст 45 – 50 лет; в числителе показатели ясеня, в знаменателе – абрикоса)

иаметр стволов, см	Высота, м	Сохранность %	$К_{ср}$ / $К_{average}$	Запас, $м^3$/га	Ширина, м	Фитонасыщенность лесополосы древесной зеленью, кг/$м^3$	Площадь, га
Доно – Донецкий ЛМР							
По данным лесополос с инв. №№ 22,31,40,98,105							
12±1 / 11±1	10,2±0,2 / 6,3±0,1	58±2 / 48±1	3,2±0,2 / 2,9±0,1	38,0±0,6 / 20,2±0,2	14±1,5	0,02 / 0,04	143
Нижне – Донской ЛМР							
По данным лесополос с инв. №№ 11,19,33,60,62							
12±2 / 12±1	11,2±0,4 / 7,1±0,2	60±2 / 45±1	3,0±0,1 / 2,8±0,2	42,4±0,4 / 24,4±0,3	13±2,0	0,02 / 0,03	176
Приазовский ЛМР							
По данным лесополос с инв. №№ 5,17,74,88,90							
15±2 / 13±2	13,0±0,5 / 9,0±0,3	55±2 / 50±2	2,7±0,1 / 2,4±0,2	69,5±1,4 / 36,6±1,1	16±2,0	0,03 / 0,05	126
Сальско – Манычский ЛМР							
По данным лесополос с инв. №№ 58,77,80,100,122							
11±1 / 10±1	8,0±0,2 / 5,3±0,1	50±2 / 5±1	3,9±0,3 / 4,0±0,1	20,9±0,1 / 1,2±0,2	18±2,5	0,01 / 0,002	105

Полезащитные лесные полосы с участием абрикоса имеют двухъярусную структуру. Верхний ярус формируется ясенем, а второй ярус представлен абрикосом, размещённым в опушечных рядах. В Доно-Донецком, Нижне-Донском и Приазовском районах абрикос характеризуется средней сохранностью около 48% и высотой от 6 до 9 м, при этом санитарное состояние оценивается как ослабленное. Ясень в этих условиях формирует древостой высотой 10–13 м с сохранностью около 58%, однако его состояние несколько хуже. В Сальско-

Манычском ЛМР наблюдается резкое ухудшение состояния насаждений: сохранность абрикоса не превышает 5%, отмечается его массовое усыхание, ясень также находится в неудовлетворительном состоянии. Основными причинами деградации насаждений являются засушливые климатические условия, низкое плодородие почв и отсутствие лесоводственных уходов.

В благоприятных условиях Приазовского, Доно-Донецкого и Нижне-Донского районов фитонасыщенность первого яруса составляет 0,02–0,03 кг/м³. Во втором ярусе, сформированном абрикосом, она достигает 0,03–0,05 кг/м³. Плодовая порода формирует плотный слой древесной зелени в нижней части лесополосы, создавая дополнительное сопротивление ветровому потоку. В Сальско-Манычском ЛМР фитонасыщенность не превышает 0,01 кг/м³.

Длина ветровой тени полезащитных насаждений с участием абрикоса представлена на рисунке 1.

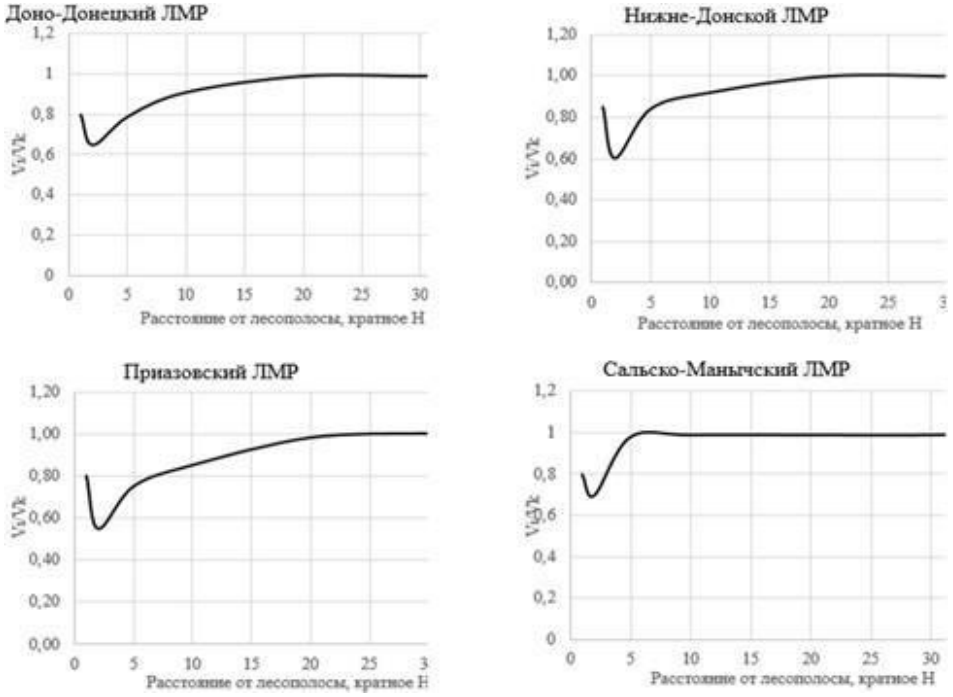


Рис. 1. Ветровая тень полезащитных лесополос с участием в составе *Prunus armeniaca* L.

Длина ветровой тени зависит от таксационных показателей лесополос (таблица 1). В Приазовском ЛМР она достигает 22 высот насаждения (Н), в Доно-Донецком - около 20Н, в Нижне-Донском - до 18Н. В Сальско-Манычском ЛМР длина ветровой тени не превышает 5Н. Установлено, что смешанные насаждения с участием абрикоса формируют более протяжённую ветровую тень, по сравнению с чистыми ясеневыми лесополосами, что объясняется увеличением общей фитонасыщенности надземного профиля [6]. Совокупность полученных данных является однородной (значения υ изменяются от 12% до 18%), статистически значимой ($t_{факт} > t_{табл}$) и характеризуется достаточно высокой точностью Р (4,3% - 7,1%).

Установлено, что 1 га насаждений с участием абрикоса способен защищать от 2,2 до 17,9 га сельскохозяйственных угодий, в зависимости от условий произрастания. В целом по региону такие лесополосы обеспечивают защиту около 7249 га пашни [6].

Механизм формирования ветровой тени связан с поглощением кинетической энергии ветрового потока древесной зеленью. Лесополоса - пористое биофизическое тело, в котором плотность органического вещества определяет степень ослабления ветра. Древесная зелень абрикоса, обладающая высокой плотностью, усиливает аэродинамическое сопротивление,

особенно в нижней и средней частях насаждения, где происходит основное взаимодействие с воздушным потоком. В результате часть кинетической энергии ветра преобразуется в механическую и тепловую, что приводит к снижению скорости ветра на защищаемой территории. В Приазовском, Доно-Донецком и Нижне-Донском ЛМР длина ветровой тени составляет 18H-22H. В Сальско-Манычском ЛМР ветровая тень локальна – не более 5H, насаждения не имеют мелиоративной эффективности. Суммарная площадь зон мелиоративного влияния полезащитных насаждений с участием абрикоса оценивается в 7249 га.

Библиографический список

1. Дубенок Н.Н. Общая пористость и пористость аэрации дерново-подзолистой почвы при выращивании саженцев сливы при капельном орошении / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Земледелие. – 2020. – № 7. – С. 3-6. – DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10701.

2. Jiang N., Cheng H., Liu C., Fang Z., Zou X. A wind tunnel study of the effects of vegetation structural characteristics on the airflow field / N. Jiang, H. Cheng, C. Liu, Z. Fang, X. Zou // Catena. – 2024. – 108064. – P. 25-50. – DOI: 10.1016/j.catena.2024.108064.

3. Ивонин В.М. Адаптивная лесомелиорация степных агроландшафтов / В.М. Ивонин, В.В. Танюкевич; Новочеркасская государственная мелиоративная академия. – Издание 2-е, исправленное и дополненное. – Москва: Закрытое акционерное общество "Издательское предприятие "Вузовская книга", 2011. – 240 с.

4. Танюкевич В.В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов / В.В. Танюкевич. – Новочеркасск: Лик, 2012. – 174 с.

5. Примаков Н.В. Ясеневые полезащитные лесные полосы Кореновского района Краснодарского края / Н.В. Примаков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2025. – № 5(407). – С. 81-91. – DOI: 10.37482/0536-1036-2025-5-81-91.

6. Кулик К.Н. Мелиоративная эффективность полезащитных лесных полос с участием *Prunus armeniaca* L. в Ростовской области / К.Н. Кулик, В.В. Танюкевич, А.К. Кулик // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16, № 1(61). – С. 37-51. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2026.1/3.

УДК 581.9

БОГАТСТВО ФЛОРЫ АБОРИГЕННЫХ И НАТУРАЛИЗОВАВШИХСЯ ВИДОВ ДЕРЕВЬЕВ МОСКВЫ

***Верещагина Мария Алексеевна**, аспирант кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ver.maria97@mail.ru*
***Лебедев Александр Вячеславович**, д.с.-х.н., доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, alebedev@rgau-msha.ru*

***Аннотация**: в статье приведены результаты оценки богатства флоры аборигенных и натурализовавшихся видов деревьев Москвы. В аборигенной фракции выявлено 19 видов, в натурализовавшейся – 17. Рассмотрены закономерности пространственного распределения фракций. Установлены точки города с наибольшим видовым богатством.*
***Ключевые слова**: аборигенные виды, адвентивные виды, натурализация, деревья, Москва.*

Зеленые насаждения занимают важное место в составе городских территорий, выполняя ряд ключевых экологических и социальных функций и способствуя формированию благоприятной окружающей среды. На качество городской среды влияют как общая площадь

зеленых пространств и их доступность для населения, так и структурная организация городских зеленых насаждений [1-3].

Существенную роль в поддержании экологического благополучия урбанизированных территорий играют древесные растения [4]. Наиболее устойчивый компонент городских зеленых насаждений формируют аборигенные и натурализовавшиеся виды деревьев. Последние, в свою очередь, адаптировавшись к местным условиям, способствуют увеличению биологического разнообразия и, как следствие, повышению устойчивости урбоэкосистем. Однако распространение таких видов требует особого контроля ввиду потенциальной угрозы угнетения и вытеснения аборигенных видов.

Богатство городской флоры активно изучается как в России, так и за рубежом. Актуальность таких исследований обусловлена необходимостью регулярного мониторинга распространения адвентивных видов, а также возрастающим влиянием климатических изменений и антропогенной деятельности [5] на сохранившиеся в черте городов природные экосистемы.

Целью исследования является оценка богатства флоры аборигенных и натурализовавшихся видов деревьев Москвы. В качестве объекта исследования выбрана территория Москвы в границах Московской кольцевой автодороги (МКАД). На основе данных о находках сосудистых растений на территории объекта [6] составлен список аборигенных и натурализовавшихся видов деревьев (таблица 1). Таксономическая классификация растений приведена по системе APG IV [7], названия видов даны в соответствии с международными базами (www.ipni.org/ipni/plantnamesarchpage.do и http://www.theplantlist.org).

Таблица 1

Распределение аборигенных и натурализовавшихся видов деревьев по семействам

Аборигенные виды	**Натурализовавшиеся виды**
Отдел голосеменные (*Gymnospermae*)	
Семейство сосновые (*Pinaceae* Lindl.)	
Ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H.Karst.) Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.)	–
Отдел покрытосеменные (*Angiospermae*)	
Семейство березовые (*Betulaceae* Gray)	
Береза повислая (*Betula pendula* Roth) Береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) Ольха серая (*Alnus incana* (L.) Moench) Ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.)	–
Семейство бобовые (*Fabaceae* Lindl.)	
–	Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.)
Семейство буковые (*Fagaceae* Dumort.)	
Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.)	Дуб красный (*Quercus rubra* L.)
Семейство вязовые (*Ulmaceae* Mirb.)	
Вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.) Вяз шершавый (*Ulmus glabra* Huds.)	Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.)
Семейство ивовые (*Salicaceae* Mirb.)	
Ива белая (*Salix alba* L.) Ива козья (*Salix caprea* L.) Ива ломкая (*Salix* × *fragilis* L.) Ива пятитычинковая (*Salix pentandra* L.) Осина (*Populus tremula* L.)	Ива понтийская (*Salix euxina* I. V. Belyaeva) Тополь белый (*Populus alba* L.)
Семейство мальвовые (*Malvaceae* Juss.)	
Липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.)	Липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos* Scop.)

Семейство маслиновые (*Oleaceae* Hoffmanns. & Link)	
Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.)	Ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall)
Семейство ореховые (*Juglandaceae* DC. ex Perleb)	
–	Орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.)
Семейство розовые (*Rosaceae* Juss.)	
Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) Черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.)	Груша обыкновенная (*Pyrus communis* L.) Алыча (*Prunus cerasifera* Ehrh.) Черешня (*Prunus avium* (L.) L.) Черемуха виргинская (*Prunus virginiana* L.) Яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.)
Семейство сапиндовые (*Sapindaceae* Juss.)	
Клен остролистный (*Acer platanoides* L.)	Клен гиннала (*Acer tataricum* subsp. *ginnala* (Maxim.) Wesm.) Клен татарский (*Acer tataricum* L.) Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.)

Всего выявлено 36 видов деревьев, из которых 19 видов (52,8%) относятся к аборигенной фракции и 17 (47,2%) – к натурализовавшейся. Семействами с наибольшим числом видов являются *Salicaceae* Mirb. и *Rosaceae* Juss., представители которых составляют по 19,4% от общего числа видов. Наиболее представленными семействами в аборигенной фракции являются *Salicaceae* Mirb. и *Betulaceae* Gray, в каждое из которых включены по два рода: *Salix* L. и *Populus* L., а также *Betula* L. и *Alnus* Mill. В натурализовавшейся фракции наибольшее число видов относится к семейству *Rosaceae* Juss., куда входят представители родов *Pyrus* L., *Prunus* L. и *Malus* Mill. Наименее представленные семейства, включенные в исследование, – *Fabaceae* Lindl. и *Juglandaceae* DC. ex Perleb, в каждое из которых входит по одному виду из натурализовавшейся фракции.

В основе нашего исследования лежит метод сеточного картирования, позволяющий проводить детальное изучение флоры равномерно на всей территории объекта и визуализировать данные. В нашем случае для визуального представления видового богатства построены картограммы (рис. 1), на которых отражено распределение аборигенных и натурализовавшихся видов на территории Москвы в границах МКАД. Размер одной ячейки – 1×1 км, общее количество ячеек – 934.

Согласно результатам исследования, максимальное число аборигенных видов (17) соответствует ячейке, в которую входят парк «Леоновская роща» и часть территории Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН (северо-восточный административный округ). Наибольшее число натурализовавшихся видов (15) найдено в двух ячейках, относящихся к природно-историческому парку «Москворецкий» (северо-западный административный округ).

При сравнении картограмм видового богатства аборигенной и натурализовавшейся фракций можно отметить существенную разницу в соотношении ячеек, относящихся к одинаковым категориям. Так, например, в натурализовавшейся фракции в 82,9% всех ячеек было найдено не больше 5 видов. От 11 видов и более выявлено суммарно в 11 ячейках. В аборигенной фракции в категорию «1-5 видов» попадает около половины всех ячеек (55,5%), однако показатели остальных категорий (исключая категорию «нет данных») значительно выше аналогичных показателей натурализовавшейся фракции. В 24,0% ячеек найдено от 6 до 10 видов, а от 11 видов и более – в 13,3% (124 ячейки).

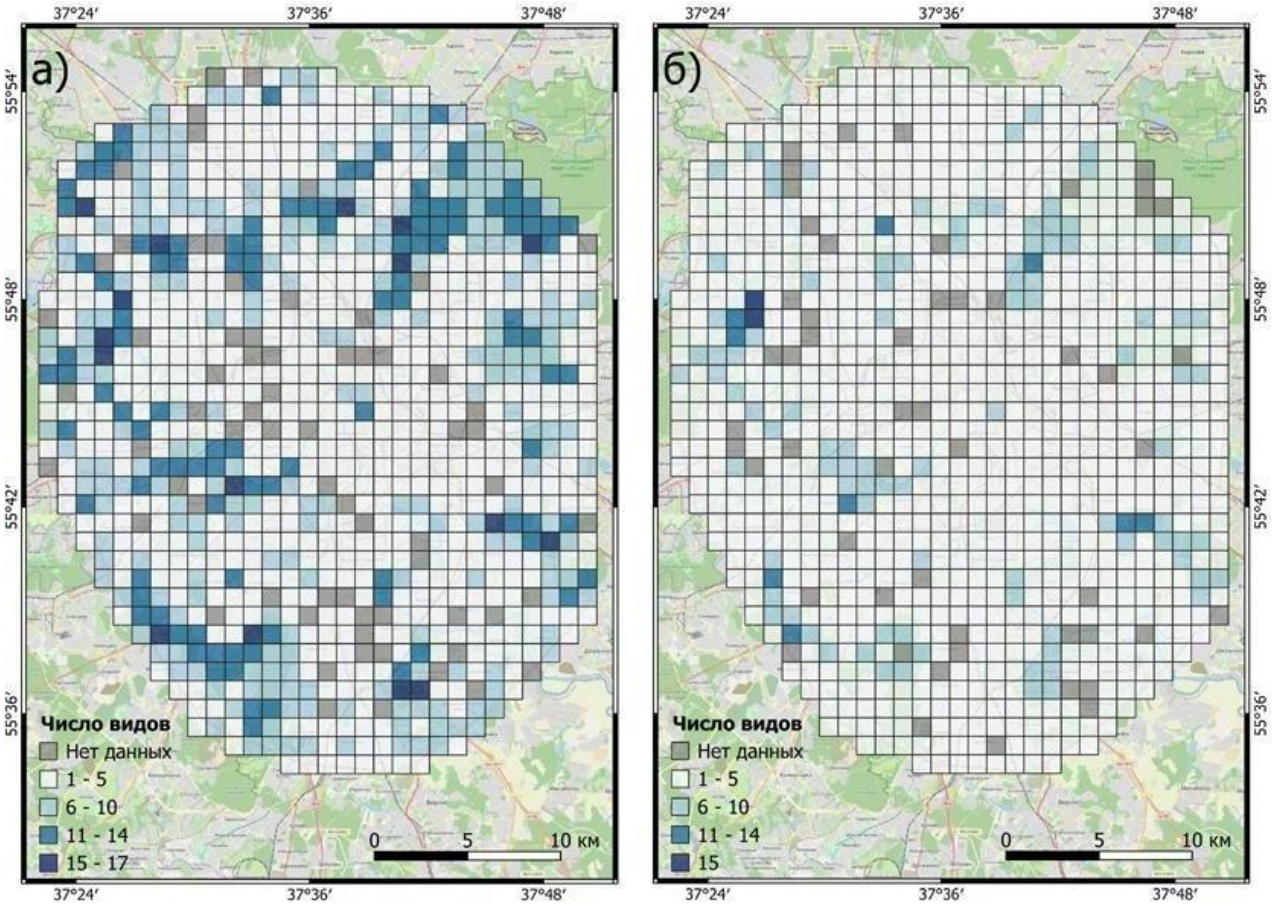


Рис. 1 Картограмма богатства флоры
а) аборигенных видов; б) натурализовавшихся видов

В обеих фракциях ячейки с более высокими показателями видового богатства относятся, главным образом, к зеленым зонам Москвы. От 11 до 15 натурализовавшихся видов выявлено на территориях природно-исторического парка «Москворецкий», музея-заповедника «Кузьминки-Люблино», Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, ландшафтного заказника «Теплый Стан», Тропаревского лесопарка, а также вблизи Ростокинского проезда, разделяющего парк «Сокольники» и национальный парк «Лосиный остров». В аборигенной фракции наибольшие показатели (от 11 до 17 видов) соответствуют территориям национального парка «Лосиный остров», природно-исторических парков «Битцевский лес» и «Москворецкий», ландшафтных заказников «Лианозовский» и «Теплый Стан», музеев-заповедников «Царицыно» и «Кузьминки-Люблино», парка «Леоновская роща» и других зеленых зон города.

Таким образом, проведенный анализ показал, что распределение аборигенных и натурализовавшихся видов деревьев на территории Москвы носит неравномерный характер. Во многих ячейках были отмечены низкие показатели видового богатства обеих фракций, однако высокая концентрация видов в крупных зеленых зонах подчеркивает важнейшую роль таких территорий в сохранении и поддержании биологического разнообразия городской флоры, что приобретает особую значимость в условиях интенсивного развития крупных городов.

Библиографический список

1. Ревич Б.А. Планирование городских территорий и здоровье населения: аналитический обзор / Б.А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 157-169.

2. Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 / A.V. Lebedev // Journal of Forestry Research. – 2023. – Vol. 34, No. 5. – P. 1279-1287. – DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.

3. Лежнев Д.В. Динамика и устойчивость сосновых древостоев в урбоэкосистемах лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / Д.В. Лежнев, А.В. Лебедев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – № 245. – С. 93-111. – DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.93-111.

4. Wendt T. Prologue to Cuevas, Núñez, and Sánchez's tree flora of Las Joyas field station, Mexico: The role and importance of tree floras / T. Wendt // Phytoneuron. – 2024. – № 11. – P. 1-5.

5. Jeannot T.B.T. The diversity of the woody tree flora of Mont Sangbé National Park (west of the Ivory Coast) / T. B. T. Jeannot, K. K. Henri // GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. – 2021. – Vol. 14, № 3. – P. 50-61.

6. GBIF.org (13 February 2026) GBIF Occurrence Download // [Электронный ресурс]. – URL: https://doi.org/10.15468/dl.dfy3wt (дата обращения: 05.04.2026).

7. Byng J.W. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV / J.W. Byng, M.W. Chase, M.J.M. Christenhusz [et al.] // Botanical Journal of the Linnean Society. – 2016. – Vol. 181, No. 1. – P. 1-20. – DOI:10.1111/boj.12385.

УДК 630*5

АНАЛИЗ ХОДА РОСТА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО *(QUERCUS ROBUR) В* УСЛОВИЯХ СУХОЙ БАЙРАЧНОЙ ДУБРАВЫ СТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ (НА ПРИМЕРЕ КАШАРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Пузанков Алексей Анатольевич, *аспирант кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, puzankov-01@mail.ru*
Хамитов Ренат Салимович*, д.с.-х.н., доцент, профессор кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, r.hamitov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *в статье представлен анализ хода роста дуба черешчатого (Quercus robur L.) в условиях сухой байрачной дубравы степного Придонья на пример Кашарского лесничества Ростовской области. На основе данных перечислительной таксации и модельных деревьев исследована динамика изменения высоты, диаметра и объёма ствола с увеличением возраста. Установлены закономерности снижения относительных приростов с увеличением возраста при одновременном накоплении древесной массы. Для аппроксимации роста по высоте и диаметру применена функция Митчерлиха, показавшая высокую точность (R^2 - 1,0), а для объёма – полиноминальную модель. Полученные результаты имеют практическое значение для прогнозирования роста и планирования лесохозяйственных мероприятий.*

Ключевые слова: *дуб черешчатый, ход роста, функция Митчерлиха, таксационные показатели, сухая байрачная дубрава.*

Процессы роста и формирования лесных насаждениях представляют собой непрерывное и закономерно протекающее явление, в ходе которого на всех этапах онтогенетического развития происходят изменения их таксационных показателей. Анализ возрастной и пространственной динамики древостоев имеет важнейшее значение для научно-обоснованного ведения лесного хозяйства, поскольку обеспечивает возможность прогнозирования изменения ключевых таксационных показателей (высота, диаметр, объём) в различных лесорастительных условиях [1, 2, 3].

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) относится к числу наиболее широко распространённых и часто встречающихся древесных пород, встречающихся в степном

Придонье. Биологические особенности дуба черешчатого, включая значительную продолжительность жизни, мощно развитую стержневую корневую систему, устойчивость к воздействию ветра, а также выраженные свойства, определяют его существенное значение в обеспечении устойчивости агроладшафтов и повышении экологической стабильности территории.

Древесина дуба характеризуется высокой плотностью и механической прочностью. Средняя плотность древесины в абсолютно сухом состоянии составляет 650-700 кг/м^3, а предел прочности при сжатии вдоль волокон – 50-60 МПа. Высокое содержание дубильных веществ обуславливает устойчивость древесины к гниению и биологическому разрушению, что определяет её хозяйственную ценность. В условиях степного Придонья дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) произрастает в дубравах байрачных сухих и имеет среднею высоту до 8,1 м. Порода используется для нужд народного хозяйства не только Ростовской области, но и других регионов РФ.

Целью исследования является изучение основных таксационных показателей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) Кашарского лесничества Ростовской области. Изучение хода роста этой древесной породы в условиях сухой байрачной дубравы имеет научно-исследовательскую значимость. **Объектом исследования** являлся дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), смешанного насаждения состава 8Вш1Яз1Дбн, произрастающий на территории Кашарского лесничества на пробной площади в квартале №9, выделе №13.

Изучение динамики роста дуба черешчатого осуществлялось с применением общепринятых в лесной таксации методики [4]. В процессе камеральной обработки древесных спилов были составлены таблицы анализа хода роста дерева по его высоте, диаметру и объёму (таблица 1).

По данным таблицы 1 построены графики зависимости высоты, диаметра и объёма по периодам возраста (рисунок 1-3). Для выравнивания значения средних высот (H) и диаметра (D) от возраста (A) использовалась ростовая функция А. Митчерлиха, в отечественной литературе известная как функция Дракина-Вуевского [5, 6].

$$H\ (D) = a_0(1 - exp(-a_1 A))^{a2}$$

Зависимость изменения объёма дерева (V) от возраста (A) была аппроксимирована полиноминальной функцией.

В качестве показателя надёжности регрессионных уравнений в исследовании использовались следующие метрики качества: коэффициент детерминации (R^2) и среднеквадратическая ошибка (SE). Оценки параметров и достоверность уравнений хода роста по средней высоте и диаметру дуба черешчатого представлена в таблице 2. Во всех случаях оценки параметров статистически значимы (при $p < 0,05$).

На основе данных перечислительной таксации, проведённой на заложенной пробной площади, были определены средние таксационные характеристики модельного дерева. С учётом полученных расчётных параметров в исследуемом насаждении были отобраны и спилены 3 фактических модельных дерева дуба черешчатого. Средние таксационные показатели модельных деревьев составили: высота (h) - 7,6 м, диаметр на высоте груди ($d_{1,3}$) - 11,5 см, возраст дерева - 28 лет.

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, позволили рассчитать математическую модель и выразить в графическом виде динамику изменения высоты и диаметра модельного дерева относительно возрастных интервалов (рисунок 1-2).

Анализ данных таблицы 1 показывает, что с увеличением возраста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) наблюдается устойчивое увеличение всех таксационных показателей. Так высота дуба увеличивается с 1, 3 м в возрасте пяти лет до 7, 6 м к 28 годам, диаметр - с 3,0 см в 10 лет до 9,1 см к 28 годам, а объём ствола - с 0,00053 м^3 до 0,0315 м^3.

Наибольшие относительные приросты приходятся на ранние этапы развития: по высоте до 40% в возрасте 5-ти лет, по диаметру - до 40% в 10 лет, по объему - 40 % в 5 лет. В дальнейшем наблюдается закономерное снижение относительных приростов: к 28 годам прирост по высоте снижается до 3,1%, по диаметру - 5,7%, по объёму - до 11,1 %. Это свидетельствует о переходе насаждения от фазы интенсивного роста к стадии замедленного развития при сохранении накопления древесной массы.

Таблица 1

Ход роста древесного ствола дуба черешчатого *(Quercus robur L.)* по диаметру, высоте и объёму

Возраст, лет	$d_{1,3}$, см	Z_d, см	P_d, %	h, м	Z_h, м	P_h, %	V, $м^3$	$Z_{ср}$, $м^3$	Z_v, $м^3$	P_v, %
5	-	-	-	1,3	0,26	40,0	0,00053	0,00011	0,00011	40,0
10	3,0	0,6	40,0	3,2	0,38	16,8	0,00432	0,00043	0,00076	31,2
15	4,4	0,28	7,6	5,0	0,36	8,8	0,00703	0,00047	0,00054	1,8
20	5,7	0,26	5,1	6,5	0,30	5,2	0,01280	0,00064	0,0012	6,1
28	9,1	0,43	5,7	7,6	0,22	3,1	0,0315	0,00113	0,0037	11,1

Примечание: $d_{1,3}$ – диаметр на высоте 1,3 м; h – высота дерева; V – объём ствола; Zd, Zh, Zv – текущий среднепериодический прирост диаметра, высоты и объёма; $Z_{ср}$ – средний прирост объёма ствола; Pd, Ph, P_V – процент текущего прироста диаметра, высоты и объёма.

Таблица 2

Параметры уравнений хода роста по средней высоте и диаметру

Средняя высота ствола (H)				
Оценка параметров уравнения			R^2	SE
a_0	a_1	a_2		
9,207	0,075	1,501	1,0	0,027
Средний диаметр ствола (D)				
63.87	0.012	1.529	0,978	0,193

Анализ параметров регрессионных уравнений, представленных в таблице 2, показывает высокую степень аппроксимации эмпирических данных. Значения коэффициента детерминации (R^2 - 1,0-0,978) свидетельствуют о высокой точности описания зависимости высоты и диаметра от возраста с использованием функции Митчерлиха. Низкие значения среднеквадратической ошибки (SE - 0,027-0,0193) подтверждают адекватность выбранной модели. Таким образом, применяемые уравнения могут быть рекомендованы для прогнозирования роста дуба черешчатого в аналогичных лесорастительных условиях.

Анализ динамики роста дуба черешчатого по высоте и диаметру ствола показывает, что для данного вида характерная интенсивная фаза развития в раннем возрасте с последующем постепенным замедлением темпов прироста по мере приближения к возрасту спелости. Наибольшие темпы прироста по высоте отмечаются в возрасте 10-20 лет, а по диаметру - в 15-25 лет. Согласно прогнозу, к 50 годам дуб черешчатый может достигать высоты около 8,9 м и диаметра ствола до 18,9 см. Это значение диаметра практически вдвое превышает показатель в возрасте 28 лет, что свидетельствует о выраженной фазе утолщения ствола в зрелом возрасте. Таким образом, полученные данные отражают типичную динамику роста дуба черешчатого в условиях степных дубрав: быстрый рост на ранних этапах, сменяющийся замедлением по мере увеличения возрасте дерева и приближения возраста спелости.

График изменения объема ствола характеризуется устойчивым ускоряющим ростом. В отличие от высоты и диаметра, объём увеличивается без выраженного снижения темпов прироста. К возрасту 50 лет объём ствола прогнозируется на уровне 0,1221 $м^3$. Это объясняется тем, что объём является интегральным показателем, зависящим одновременно от высоты и диаметра, и продолжает интенсивно расти даже при замедлении линейных приростов.

В результате проведённого исследования установлены закономерности роста дуба черешчатого *(Quercus robur L.) в* условиях сухой байрачной дубравы степного Придонья. Подтверждено, что динамика таксационных показателей носит нелинейный характер: максимальные темпы прироста по высоте и диаметру приходятся на молодой возрастной период, после чего наблюдается их постепенное снижение. При этом объём ствола

увеличивается на протяжении всего исследуемого периода, обеспечивая накопление древесной массы.

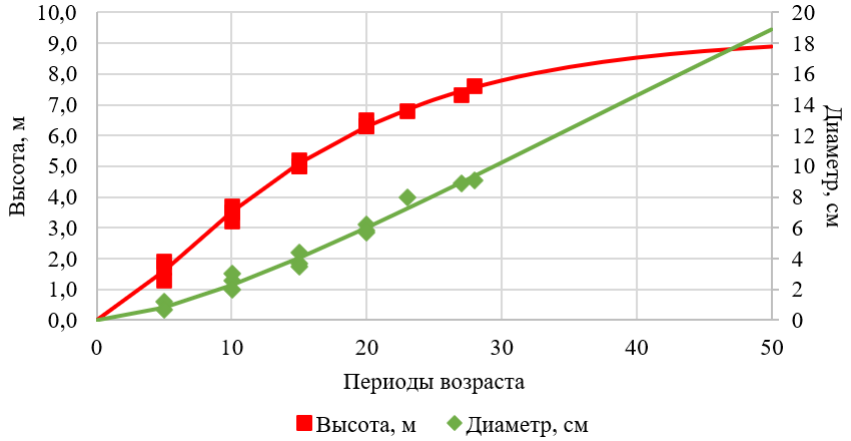


Рис. 1. Изменение высоты и диаметра дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с возрастом дерева

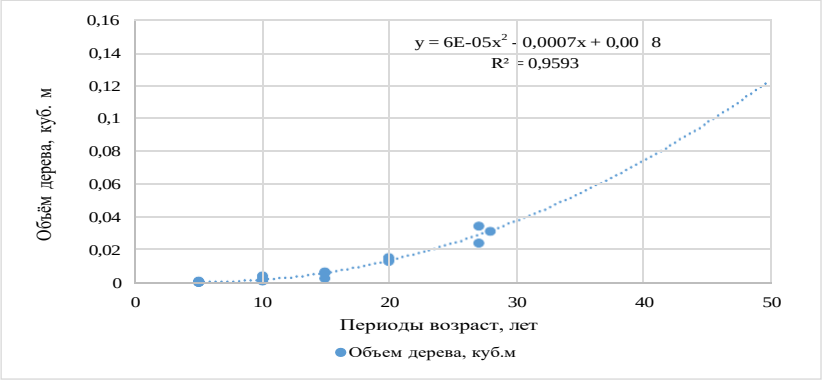


Рис. 2. Изменение объёма дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с возрастом дерева

Применение функции Митчерлиха для моделирования роста по высоте и диаметру показало высокую точность и статистическую значимость, что подтверждается значениями коэффициентов детерминации. Использование полиноминальной функции для описания динамики объёма также является обоснованным. Полученные результаты имеют практическое значение для прогнозирования роста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и могут быть использованы при планировании лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности и устойчивости насаждений в сухих условиях степной зоны.

Библиографический список

1. Хамитов Р.С. Сравнительный анализ хода роста робинии лжеакации (*Robinia pseudoa* Ca CIA) в лесных полосах Доно-Донецкого лесомелиоративного района Ростовской области / Р.С. Хамитов, С.М. Хамитова, А. А. Пузанков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2026. – № 1(85). – С. 75-85. – DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-08.

2. Пузанков А.А. Особенности динамики роста вяза шершавого (*Ulmus glabra* Huds.) в естественных насаждениях и полезащитных лесных полосах Ростовской области / А.А. Пузанков, Р.С. Хамитов // Научно-агрономический журнал. – 2025. – № 3(130). – С. 64-72. – DOI: 10.34736/FNC.2025.130.3.007.64-72.

3. Лебедев А.В. Динамическая модель роста и производительности сосновых древостоев (*Pinus sylvestris* L.) Унженской низменности / А. В. Лебедев // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14, № 3(55). – С. 127-151. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.3/8.

4. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. – М.: Отраслевой стандарт, 1983. – 63 с.

5. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели / В.В. Кузьмичев; отв. ред.: к.ф.-м.н. Г.Б. Кофман, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т леса им. В.Н. Сукачева. – Новосибирск: Наука, 2013. – 207 с.

6. Лебедев А.В. Использование функции Чапмана-Ричардса для выравнивания зависимости высот деревьев от диаметров на высоте груди / А.В. Лебедев // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона: сборник статей, Москва, 09-11 июня 2020 года. Том 1. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 251-253.

УДК 630*521+630*524.1

РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ТАКСАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ И ЕЛИ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

***Гостев Владимир Викторович**, ассистент кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, v.gostev@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Рассматривается применение смартфонов со встроенными LiDAR-датчиками и приложением Arboreal Forest для таксации лесов, как альтернатива традиционным методам таксации. Разработан алгоритм, позволяющий автоматически рассчитывать выход крупной, средней и мелкой деловой древесины, дров и отходов.*

***Ключевые слова:** LiDAR, Arboreal Forest, сосновые древостои, еловые древостои, Костромская область.*

Внедрение цифровых технологий в лесное хозяйство открывает новые возможности для повышения эффективности таксационных работ. Традиционные методы с использованием мерных вилок и высотомеров трудоёмки и не всегда обеспечивают необходимую оперативность. Альтернативой выступают системы наземного лазерного сканирования, которые позволяют с высокой точностью определять диаметры и высоты деревьев [1]. Однако высокая стоимость НЛС ограничивает их широкое применение. В последние годы активно развиваются методы таксации с помощью мобильных устройств (смартфонов и планшетов), оснащённых встроенными LiDAR-датчиками. Такие устройства компактны, относительно дёшевы и просты в использовании [2, 3, 4].

Зарубежные исследования демонстрируют высокий потенциал мобильных приложений для лесной инвентаризации. D. Costantino с соавт. [3] оценили возможности смартфонных LiDAR для съёмки и моделирования в городских условиях, подтвердив их пригодность для задач, не требующих геодезической точности. S. Tatsumi с соавт. [2] разработали приложение Forest Scanner для измерения и картирования деревьев на iPhone и iPad, показав его высокую эффективность. Среди многообразия мобильных приложений особого внимания заслуживает шведское приложение Arboreal Forest. A. Sandim с соавт. [4] провели комплексное исследование новых технологий ускоренной лесной инвентаризации в северной Португалии. Авторы сравнили несколько приложений на платформах Android и iOS и пришли к выводу, что наиболее точные результаты показывает именно Arboreal Forest. Приложение позволяет проводить сплошной перечёт деревьев, автоматически фиксируя диаметры на высоте груди и географические координаты.

Точность измерений Arboreal Forest неоднократно оценивалась в зарубежных работах. N.A. Howie и A. De Stefano [5] сравнили измерения диаметров с помощью iPad, оснащённого LiDAR, используя приложения ForestScanner и Arboreal Forest. Авторы отметили хорошую согласованность результатов с данными мерной ленты, однако выявили тенденцию к незначительной недооценке диаметров мобильными приложениями. S.A. Borz с соавт. [6] пришли к выводу, что технические особенности датчика LiDAR могут быть причиной некоторых погрешностей, однако в целом точность достаточна для большинства

лесохозяйственных задач. Отклонения среднего диаметра, по данным разных авторов, обычно не превышают 3–4 %, а суммы площадей сечений – 6–7 %.

В России опыт использования мобильных приложений для таксации лесов пока ограничен. А.В. Лебедев [7] отмечает, что приложения для смартфонов выступают эффективной альтернативой стандартным методам инвентаризации, но в рамках достижения технологического суверенитета существует потребность в разработке отечественных устройств и программного обеспечения.

Исследования, проведённые в Костромской области, показали, что применение Arboreal Forest на смартфоне Apple iPhone 14 Pro позволяет получить значения диаметров, хорошо согласующиеся с данными мерной вилки. Отклонение среднего диаметра составило от -3,2 до -1,1 %, суммы площадей сечений – от -6,4 до -2,3 %, что соответствует требованиям к глазомерно-измерительной таксации. Статистическая обработка с использованием критерия Колмогорова–Смирнова не выявила значимых различий в распределении деревьев по ступеням толщины при уровне значимости 0,05.

Важным направлением является интеграция мобильных измерений с региональными таксационными нормативами. Для условий Костромской области разработаны модели образующей стволов сосны и ели, а также динамические уравнения разрядов высот. Они позволяют автоматически рассчитывать объёмы стволов и выход сортиментов, отказываясь от использования классических лесотаксационных справочников. Подобный подход способствует повышению точности материально-денежной оценки лесосек и может увеличить поступления в бюджеты на 10–15 % за счёт более точного учёта крупной древесины.

Для повышения эффективности оценивания таксационных показателей еловых древостоев Костромской области разработан алгоритм, базирующийся на использовании смартфона с приложением Arboreal Forest, оснащённого LiDAR-датчиком, моделей образующей древесных стволов и динамических уравнений разрядов высот (рис. 1).

Алгоритм позволяют получать значения выхода деловой древесины, дров и отходов с высокой точностью без применения классических лесотаксационных нормативов и справочников с меньшими трудовыми и временными затратами, а также не требует применения дорогостоящего оборудования.

С применением составленных таблиц материальной оценки произведено оценивание выхода крупной, средней, мелкой деловой древесины, дров и отходов по данным измерений диаметра мерной вилкой и смартфоном с приложением Arboreal Forest. Недостающие значения высот рассчитывались с применением соответствующих динамических уравнений на основе функции Richards. Установлено, что использование разработанного алгоритма таксации обеспечивает хорошее соответствие значений полученным с помощью мерной вилки для средней и мелкой деловой древесины. Наибольшую сложность для точной оценки представляет категория крупной деловой древесины, где относительная ошибка может достигать 50%. Это объясняется тем, что для крупных деревьев даже незначительная погрешность в измерении диаметра приводит к существенному изменению объема ствола ввиду расхождения в ступенях толщины.

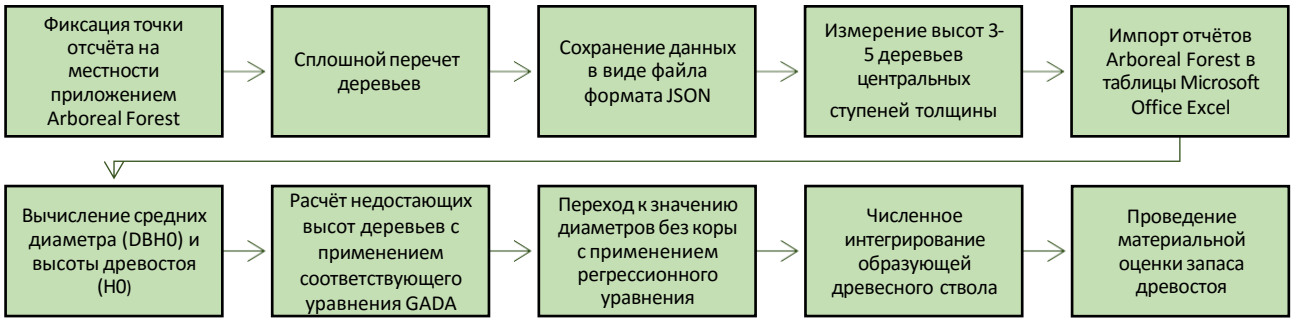


Рисунок 1 – Структура алгоритма таксации древостоев с применением смартфона

Влияние условий произрастания (густой подлесок, сомкнутость полога, освещённость) на точность мобильной таксации изучено недостаточно. Требуются дальнейшие исследования для адаптации метода к различным породам и регионам. Кроме того, актуальна разработка отечественного программного обеспечения, аналогичного Arboreal Forest.

Библиографический список

1. Newnham G.J., Armston J.D., Calders K., et al. Terrestrial Laser Scanning for Plot-Scale Forest Measurement // Current Forestry Reports. 2015. Vol. 1, No. 4. P. 239–251.

2. Tatsumi S., Yamaguchi K., Furuya N. ForestScanner: A mobile application for measuring and mapping trees with LiDAR-equipped iPhone and iPad // Methods in Ecology and Evolution. 2022. Vol. 14. P. 1603–1609.

3. Costantino D., Vozza G., Pepe M., Alfio V.S. Smartphone LiDAR Technologies for Surveying and Reality Modelling in Urban Scenarios // Applied System Innovation. 2022. Vol. 5. P. 63.

4. Sandim A. New Technologies for Expedited Forest Inventory Using Smartphone Applications // Forests. 2023. Vol. 14, No. 8. P. 1553.

5. Howie N.A., De Stefano A. Measuring Tree Diameter Using LiDAR Equipped iPad: An Evaluation of ForestScanner and Arboreal Forest Applications // Forest Science. 2024. Vol. 70, Iss. 4. P. 304–310.

6. Borz S.A., Toaza J.M., Proto A.R. Accuracy of two LiDAR-based augmented reality apps in breast height diameter measurement // Ecological Informatics. 2024. Vol. 81. P. 102550.

7. Лебедев А.В. Инвентаризация древесных насаждений урбанизированных территорий с использованием смартфона // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 3(51). С. 56–70.

УДК 630*182.4

ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ: МЕТОДЫ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

***Чистюлин Павел Алексеевич**, аспирант кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, az.pach2001@gmail.com*
***Хамитов Ренат Салимович**, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, r.hamitov@rgau-msha.ru*
***Мельник Петр Григорьевич**, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесоводств, экологии и защиты леса, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Мытищинский филиал, melnik_petr@bk.ru*

***Аннотация:** в условиях меняющегося климата и интенсификации лесопользования проблема адаптации лесохозяйственных практик к региональным условиям приобретает критическую важность. В данной обзорной статье мы анализируем современные методологические подходы к оценке адаптации климатипов, включая анализ долговременных географических культур, дендрохронологические методы, оценку жизненного состояния и фенологического развития.*

***Ключевые слова:** сосна обыкновенная, климатип, адаптивная способность, географические культуры, продуктивность, устойчивость, лесосеменное районирование.*

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*), обладая широчайшим ареалом и высокой экологической пластичностью, по нашему глубокому убеждению, является важнейшей лесообразующей и лесохозяйственной породой России. Внутривидовая дифференциация сосны на географические расы, климатипы и экотипы, как справедливо отмечают авторы [1,

2], представляет собой результат длительной эволюционной адаптации к конкретным почвенно-климатическим условиям. Именно эта дифференциация, полагаем мы, обусловливает различный адаптивный потенциал популяций, который наиболее ярко проявляется при их интродукции в новые экологические ниши.

В современных условиях, когда задачи повышения продуктивности лесов [3], их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, а также адаптации к климатическим изменениям выходят на первый план, научная оценка адаптивной способности климатипов становится, на наш взгляд, не просто актуальной, а стратегически необходимой. Считаем, что традиционным и наиболее достоверным методом такой оценки является изучение географических культур – долговременных экспериментов по выращиванию популяций разного происхождения в единых условиях. Нельзя не согласиться с Наумовым В.Д. и соавт. [4], что основы этого метода были заложены еще в XIX веке и сохраняют свою ценность до сих пор. Актуальным дополнением к этому методу, как мы убедились в ходе собственных исследований, служат дендрохронологический анализ и мониторинг физиологического состояния.

Целью данной обзорной статьи является систематизация методологических подходов, обобщение ключевых закономерностей адаптации климатипов сосны обыкновенной, выявленных в ходе многолетних исследований (в том числе в рамках наших работ в условиях Мещерской низменности [5, 6]), и определение их практической значимости для устойчивого лесопользования.

Оценка адаптивной способности климатипа – комплексная задача, и мы разделяем мнение, что она требует анализа ряда взаимосвязанных показателей. Рассмотрим основные методы, которые мы сами применяли и которые, по нашему мнению, являются наиболее информативными.

«Золотым стандартом» в данной области является анализ долговременных географических культур. Он позволяет в контролируемых условиях сравнить ростовые, продукционные и виталитетные характеристики разных популяций. Соглашаясь с авторами [4, 8], полагаем, что ключевыми оцениваемыми параметрами здесь являются: сохранность древостоя, средние высота и диаметр, запас древесины, текущий и средний прирост, класс бонитета. В наших исследованиях в Мещерской низменности [5, 6] мы на конкретном примере убедились, что продуктивность (запас) таежных климатипов в возрасте 58 лет может достигать лишь 59-77% от продуктивности местного стандарта. Кроме того, мы полностью разделяем точку зрения Рубцова В.И. [10] о важности анализа динамики роста культур в зависимости от густоты посадки.

Дендрохронологический анализ – это незаменимый инструмент для реконструкции истории роста и выявления специфики реакции разных климатипов на погодные факторы (температуру, осадки, засухи, поздние заморозки). Следуя подходам, описанным Фриттсом [7], мы считаем, что установление корреляционных связей, анализ величины и синхронности снижения прироста в стрессовые годы является прямым и наиболее объективным индикатором устойчивости.

Оценка жизненного состояния (виталитета). незаменима для быстрой полевой диагностики. Проводимая по визуальным шкалам (включая оценку густоты и цвета хвои, наличия суховершинности, дефолиации, поражения болезнями и вредителями) [12], она позволяет оценить общий уровень стресса и адаптированности. При этом мы согласны с Ипатовым В.С. и Кириковой Л.А. [11], что такую оценку необходимо проводить в рамках фитоценологического подхода, учитывая взаимодействие деревьев в насаждении.

Немаловажны и фенологические наблюдения. Из собственного опыта мы убедились, что фиксация сроков начала и окончания вегетации, роста побегов критически важна для оценки риска повреждения поздними весенними заморозками. Полагаем, что к таким повреждениям особенно чувствительны климатипы из регионов с более коротким вегетационным периодом.

Для более детальных исследований важен анализ структуры крон, формы стволов (индекс H/D), характеристик хвои, содержания фотосинтетических пигментов позволяет глубже понять механизмы адаптации. Как отмечают Мерзленко М.Д. с соавторами [9], эти показатели дают ценную информацию о физиологическом состоянии деревьев.

Обобщая данные многолетних исследований, включая результаты, полученные нами лично, мы выделяем ряд устойчивых закономерностей, которые считаем ключевыми для понимания адаптации.

1. Принцип климатического соответствия. Мы полностью согласны с тем, что наибольший адаптационный успех демонстрируют климатипы, интродуцированные из регионов со сходным климатическим ритмом (сумма температур, продолжительность вегетационного периода, режим увлажнения). Как показывают исследования [4, 8], именно такие популяции формируют высокопродуктивные и устойчивые насаждения.

2. Соотношение продуктивности и устойчивости. Принципиально важным является следующий вывод: климатипы из более суровых (например, северных таежных) условий при интродукции в более благоприятные регионы часто формируют жизнеспособные, но менее продуктивные насаждения. В наших исследованиях [5, 6] мы получили подтверждение, что их ростовые показатели (высота, диаметр, запас) могут существенно (на 20-50%) уступать местным экотипам. Тем не менее, мы считаем, что такие климатипы могут обладать ценными признаками устойчивости к экстремальным температурам или болезням, что делает их интересными для селекционных программ.

3. Фотопериодическая реакция. Как отмечают Мерзленко М.Д. и соавторы [9], у климатипов из высоких широт, адаптированных к длинному дню, в условиях более южных регионов может нарушаться ритм сезонного развития. Мы полагаем, что это приводит к несвоевременному окончанию роста побегов и их повреждению ранними осенними заморозками, либо к недостаточной подготовке к зиме. В своих исследованиях мы также наблюдали подобные явления.

4. Дифференцированная реакция на стресс. Основываясь на дендрохронологических данных, мы убеждены, что разные климатипы по-разному реагируют на одни и те же засушливые периоды [7]. Одни, как мы видели, демонстрируют глубокую и продолжительную депрессию прироста, другие – более быструю компенсацию, что, по нашему мнению, указывает на различную физиологическую устойчивость. Это важно учитывать при прогнозировании поведения насаждений в условиях изменения климата.

Оценка адаптивной способности климатипов сосны имеет, как мы считаем, прямые прикладные выходы, значимые для устойчивого развития лесного сектора [3]. Результаты таких исследований являются эмпирической базой для подтверждения, уточнения или пересмотра границ лесосеменных районов, что минимизирует риски использования генетически неподходящего материала [2, 8]. На наш взгляд, выявление климатипов с ценными хозяйственными признаками (высокая продуктивность, устойчивость к засухе, морозу, болезням) позволяет целенаправленно отбирать плюсовые деревья и закладывать лесосеменные плантации [1, 2]. Понимание того, какие климатипы демонстрируют лучшую устойчивость к засухам или экстремальным температурам, позволяет прогнозировать и планировать лесохозяйственные мероприятия [3, 7]. По мнению ряда авторов [9, 10, 11], использование семян отобранных, адаптированных климатипов гарантирует более высокую приживаемость, скорость роста и конечную продуктивность искусственных насаждений.

Таким образом, комплексная оценка адаптивной способности климатипов сосны обыкновенной, основанная на интеграции классических и современных методов, представляет собой мощный научный инструмент. Ее применение, позволяет не только расширить фундаментальные знания о внутривидовой изменчивости [1] и механизмах адаптации, но и решать практические задачи повышения устойчивости, продуктивности и биоразнообразия лесов [3, 12, 13]. Внедрение научно обоснованных рекомендаций по использованию генетического ресурса сосны является необходимым условием для перехода к устойчивому, адаптивному и технологически продвинутому лесному хозяйству, что полностью

соответствует стратегическим целям развития АПК и экологической безопасности сельских территорий России.

Библиографический список

1. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 284 с.
2. Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и лесное семеноводство в России. М.: ВНИИЛМ, 2012. 380 с.
3. Усольцев В.А. Продуктивность и устойчивость лесных экосистем. Екатеринбург: УрО РАН, 2017. 276 с.
4. Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Географические культуры сосны в Лесной опытной даче Тимирязевской академии. М.: МЭСХ, 2019. 182 с.
5. Мельник П.Г. Характеристика роста, продуктивности и сохранности климатипов сосны обыкновенной в условиях Мещерской низменности // Лесной вестник. 2024. Т.28. №5. С.68–82.
6. Чистюлин П.А. Изучение роста, продуктивности и состояния экотипов сосны обыкновенной в условиях Мещерской низменности: ВКР магистра. Мытищи: МФ МГТУ, 2025. 59 с.
7. Fritts H.C. Tree Rings and Climate. London: Academic Press, 1976. 567 p.
8. Вересин М.М. Роль географических культур сосны в обосновании лесосеменного районирования. Л.: Наука, 1963. 215 с.
9. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Гаврилова О.И. Основы экологии искусственных хвойных насаждений. Архангельск: САФУ, 2018. 379 с.
10. Рубцов В.И. Динамика роста и биопродуктивность культур сосны различной густоты. М.: ЦБНТИлесхоз, 1974. 27 с.
11. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 316 с.
12. Lebedev A. Effect of climate change on height growth and carbon storage of Eastern European Scots pine populations / A. Lebedev, C. Mátyás // European Journal of Forest Research. – 2025. – Vol. 144, No. 6. – P. 1597-1611. – DOI: 10.1007/s10342-025-01828-8.
13. Innes J. et al. Assessment of tree vitality in forest monitoring // Environmental Monitoring and Assessment. 1993. Vol.28. P.189–203.

СЕКЦИЯ АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА И ВОДОИСПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 626.17/691.17/502/504

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОЭФФИЦИЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Жукова Татьяна Юрьевна, *кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, t.zhukova@rgau-msha.ru*

Еремеев Андрей Викторович, *кандидат технических наук, доцент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, a.eremeev@rgau-msha.ru*

Ханов Нартмир Владимирович*, доктор технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт*

мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, khanov@rgau-msha.ru

Аннотация: *В данной публикации рассматривается методика определения гидравлических характеристик с уточнением коэффициента шероховатости противоэрозионных материалов. Противоэрозионный материал имеет достаточно обширную область применения в гидротехническом строительстве.*

Ключевые слова: *откос, эрозия, геомат, битум, щебень, растительность, коэффициент шероховатости.*

Откосы гидротехнических сооружений, контактирующие с водной поверхностью, подвергаются воздействию водной эрозии (рис. 1). Для защиты от данного воздействия используются специальные защитные противоэрозионные материалы. Для предотвращения негативных воздействий водной эрозии на грунтовые откосы выполняется ряд мероприятий, в том числе укрепление верхнего слоя откоса противоэрозионными одеждами [1]. В настоящее время существует большое количество противоэрозионных материалов, однако с развитием технологий появились современные геосинтетические материалы. Данный вид материалов применяется для стабилизации эрозионных процессов грунтов и почв, с их помощью становится возможным строительство на слабых и техногенных грунтах. Распространёнными геосинтетическими материалами являются геоматы, которые нашли свое применение в строительстве [2,3]. Геомат - это трехмерный геосинтетический материал, состоящий из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити термическим способом.

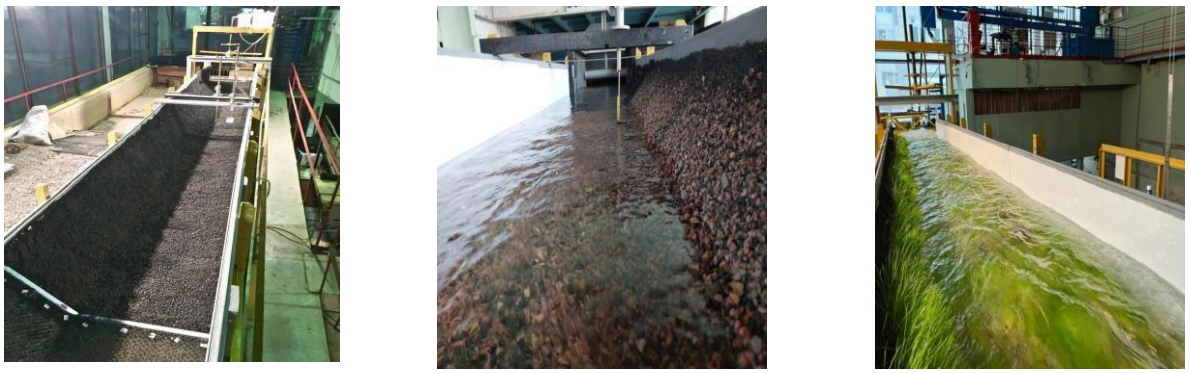


а) б)

Рис. 1 Обрушение и эрозия неукреплёного откоса

В лаборатории кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, был произведен ряд исследований покрытий, состоящих из геоматов с различными заполнителями. В данной работе рассматривается геомат марки Энкамат А20, заполненный битум-полимерным вяжущим, геомат марки Энкамат 7225 с заполнителем из щебня и с заполнителем из щебня с посевом многолетних трав рода райграс. Исследование трех рассматриваемых покрытий проводились на экспериментальной установке, выполненной в виде лотка с переменным уклоном длиной 8,6 м (рис. 2).

а) б) в)



а) с заполнителем из щебня и битум-полимерного вяжущего; б) с заполнителем из щебня; в) с заполнителем из щебня с посевом многолетних трав рода райграс

Рис. 2 Экспериментальная установка с трапецеидальным сечением лотка

Целью данной работы стало определение методики гидравлических исследований свойств трех вышеперечисленных покрытий, а также сбора данных с целью осуществления прогноза использования данных покрытий в качестве облицовки русел водотоков [4]. Для определения коэффициента шероховатости (n) был разработан алгоритм гидравлического расчёта, в блок-схеме (рис.3) которого использовались зависимости Гангилье – Куттера ($n_{г-к}$), Маннинга ($n_м$) и Н.Н. Павловского ($n_п$) [5]. Для использования данного алгоритма расчета необходимо определить глубины и вычислить средние скорости потока по каждому мерному створу.

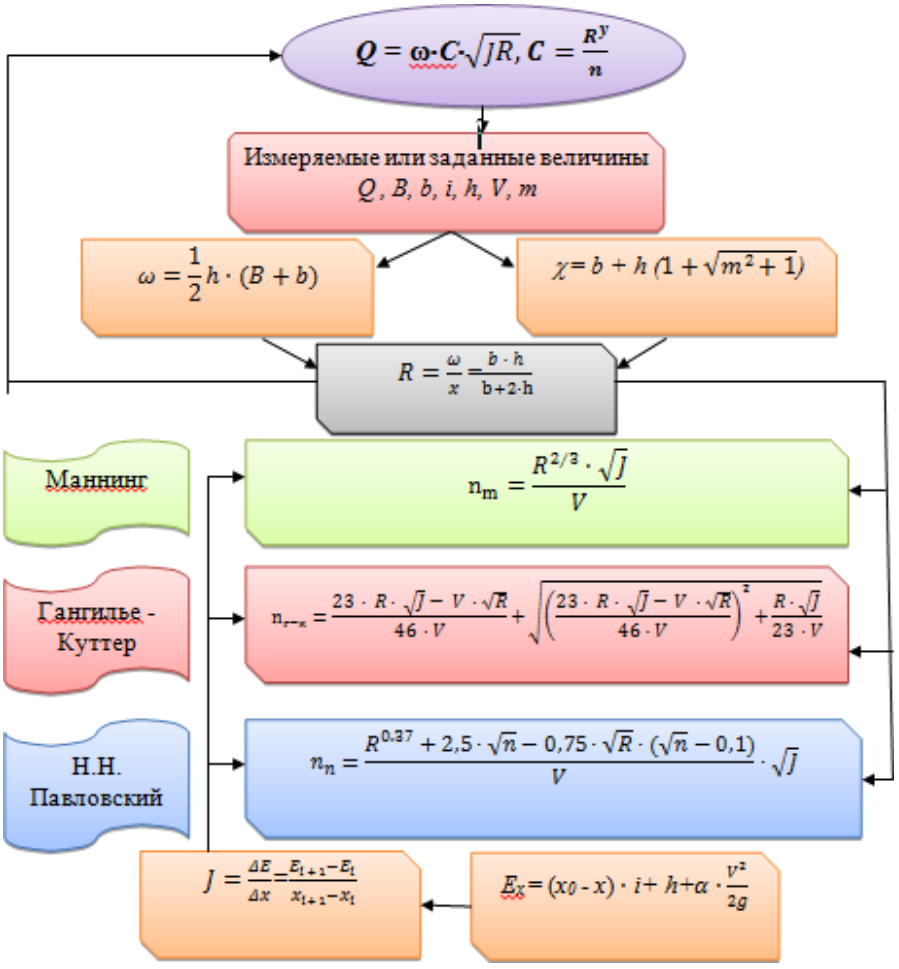


Рис. 3 Блок-схема гидравлического расчёта каналов и участков русел водотоков

На рабочем участке экспериментальной установки, которая соответствует натурным условиям потока была сделана физическая модель фрагмента канала трапецеидального поперечного сечения, для изучения гидравлических характеристик потока [5]. Гранулометрический состав щебня подбирался таким образом, чтобы пустоты в структуре геомата были полностью заполнены. Выбор семян базировался на рекомендациях ОДМ 218.2.064-2015 «Методы укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог засевом трав в различных климатических зонах» и анализе соответствующей научно-технической литературы.

В заключение стоит отметить, что откосы гидротехнических сооружений, контактирующие с водной поверхностью, подвергаются воздействию водной эрозии. Распространёнными геосинтетическими материалами являются геоматы, которые нашли свое применение в строительстве. Описана методика определения гидравлических характеристик с уточнением коэффициента шероховатости *n* противоэрозионных материалов. Для дальнейшего изучения коэффициента шероховатости *n* защитных противоэрозионных покрытий рекомендуется провести исследование канала, облицованном защитными покрытиями.

Библиографический список

1. Мельникова Е.П. Повышение устойчивости грунтовых сооружений путем армирования геосинтетическими материалами // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. 2016. № 1. С. 29–34.
2. Жукова Т.Ю. Методика исследования фильтрационных характеристик противоэрозионных покрытий / Т.Ю. Жукова, А.В. Еремеев // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии: Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 20-23.
3. Ханов Н.В., Жукова Т.Ю., Алексеев Д.А. Лабораторные исследования покрытия из композиционного геомата, заполненного щебнем и укрепленного райграсом// Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 403–417.
4. Жукова Т.Ю. Применение современных противоэрозионных покрытий из геоматов для защиты откосов гидротехнических сооружений / Т.Ю. Жукова // Современные тенденции развития фундаментальных и прикладных наук: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 25 января 2025 года. – Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2025. – С. 509-514.
5. Жукова Т.Ю. Применение современных облицовочных одежд откосов на склонах территории / Т.Ю. Жукова // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии: Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 39-43.

УДК 626.17/691.17/502/504

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯПУЛЬСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА

Жукова Татьяна Юрьевна, *кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, t.zhukova@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В данной публикации рассматривается результаты экспериментального исследования пульсационных характеристик потока. Распространёнными геосинтетическими материалами являются геоматы, которые нашли свое применение в строительстве. Этот противоэрозионный материал имеет достаточно обширную область применения в гидротехническом строительстве.*

Ключевые слова: *облицовка, эрозия, геомат, щебень, пульсация, датчик, гидродинамическое давление.*

Вопросы борьбы с эрозией почв не могут быть решены без глубоких научных исследований эрозионных процессов. Поэтому проблема проектирования и строительства берегоукреплений во все времена привлекала внимание учёных. Это свидетельствует о целесообразности и необходимости дальнейшего усовершенствования проектирования, производства работ и эксплуатации сооружений и средств защиты естественных берегов и искусственно созданных откосов от разрушения [1].

В настоящее время существует большое количество противоэрозионных материалов, однако с развитием технологий появились современные геосинтетические материалы. Повышая надежность, долговечность и экологическую безопасность возводимых объектов, сегодня эти материалы активно применяют при строительстве транспортных, гидротехнических, мелиоративных, природоохранных сооружений. Распространёнными геосинтетическими материалами являются геоматы, которые нашли свое применение в строительстве. Геомат - это трехмерный геосинтетический материал, состоящий из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити термическим способом [2-4].

В лаборатории кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, был произведен ряд исследований покрытий, состоящих из геоматов с различными заполнителями. В данной работе рассматривается геомат марки Энкамат 7225 с заполнителем из щебня.

На противоэрозионное покрытие канала могут оказывать влияние пульсации давления при движении потока. Поэтому была поставлена задача выполнить исследования по выявлению влияния пульсаций в водном потоке на крепление канала, состоящего из геомата с заполнителем из щебня. А именно провести оценку устойчивости покрытия и исследование влияния величины расхода воды на изменение пульсационных характеристик.

Цель исследования пульсационных характеристик потока заключалась в оценке влияния пульсации потока на устойчивость покрытия откоса и дна канала из геомата с заполнителем из щебня.

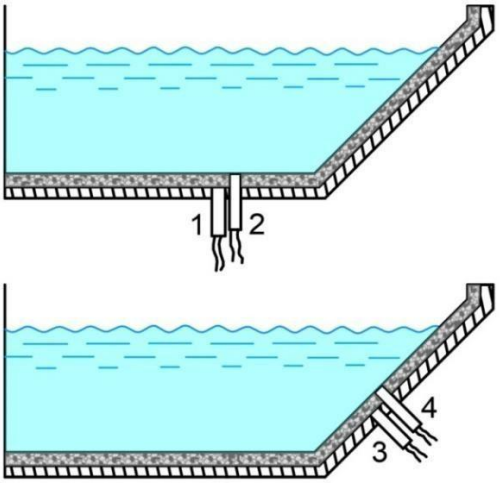
Для получения пульсационных характеристик воздействия потока на крепление дна и откосов канала был выбран один створ на рабочем участке для избежания влияния различных характеристик потока. Влияние пульсационных характеристик потока на крепление осуществлялось при расходах $Q = 43{,}7$ л/с, $Q = 84{,}33$ л/с и $Q = 128{,}03$ л/с, при этом уклон дна оставался неизменным $i = 0{,}0087$.

В исследованиях всего было сделано 4 серии опытов. Датчик находился под исследуемым противоэрозионным покрытием в первых двух сериях опытов. На откосе и на дне лотка просверливались отверстия, которые соответствовали диаметру датчика.

Эксперименты состояли из четырех серий опытов. В первых двух сериях датчик ДД–10 находился под противоэрозионным покрытием. Для его установки на откосе и дне канала просверливались отверстия диаметром, соответствующим диаметру датчика. Датчик по очереди устанавливался в эти отверстия и закреплялся, после чего проводились серии опытов при трех расходах [5-6].

В третьей и четвёртой серии опытов датчик находился на одном уровне с исследуемым противоэрозионным покрытием. Для его установки в покрытии просверливались отверстия в тех же местах, что и в первой и второй серии опытов.

Скорости потока в местах расположения датчиков измерялись с помощью трубки Пито. Расположение датчиков представлено на рисунке 1.



1 – на дне под покрытием; 2 – то же на уровне с покрытием;
3 – на откосе под покрытием; 4 – то же на уровне с покрытием

Рис. 1 Схема расположения датчиков на модели

При определении времени, в течение которого необходима фиксация измерений датчика, использовалась теорема Котельникова В.А, в соответствии с которой интервал дискретизации Δt определяется по зависимости:

$$\Delta t = \frac{f_{max}}{2}. \quad (1)$$

где: f_{max} – наибольшая частота в спектре.

Нижняя граница частотного диапазона определялась по зависимости:

$$f_0 = 1/T_0. \quad (3.8)$$

Чтобы определить горизонтальный масштаб турбулентности T_0 используем формулу:

$$T_0 = L/V_{min}. \quad (2)$$

где: L – длина участка, м;

V_{min} – минимальная средняя скорость водного потока.

Длина реализации определялась по формуле:

$$T = (5 \dots 6)T_0. \quad (3)$$

Было получено, что время фиксации измерений датчика от 120 до 180 секунд, шаг времени задержки 50 мс [5-6].

В результате проведения гидродинамических исследований были получены пульсационные характеристики исследуемого покрытия, представленные в таблице 1. Полученные пульсационные характеристики дают представление о нагрузке водного потока на исследуемое покрытие. В таблице 1 представлены результаты гидродинамических исследований в виде пульсационных характеристик исследуемого защитного покрытия канала, что дает информацию о нагрузке потока воды на покрытие.

Таблица 1

Результаты измерения пульсационных характеристик

Расход Q, л/с	Скорость потока V, дм/с	Гидродинамическое давление
		Среднее значение, см
Датчик на дне под покрытием (1 датчик)		
43,7	6,196	2,169
84,33	8,436	2,889

128,03	11,127	3,609
Датчик на дне на одном уровне с покрытием (2 датчик)		
43,7	6,205	5,537
84,33	8,685	8,702
128,03	11,147	11,865
Датчик на откосе под покрытием (3 датчик)		
43,7	6,189	1,669
84,33	8,352	2,389
128,03	11,120	3,159
Датчик на откосе на одном уровне с покрытием (4 датчик)		
43,7	6,209	4,987
84,33	8,689	8,132
128,03	11,141	11,305

На рисунке 2 представлена зависимость гидродинамического давления от расхода воды.

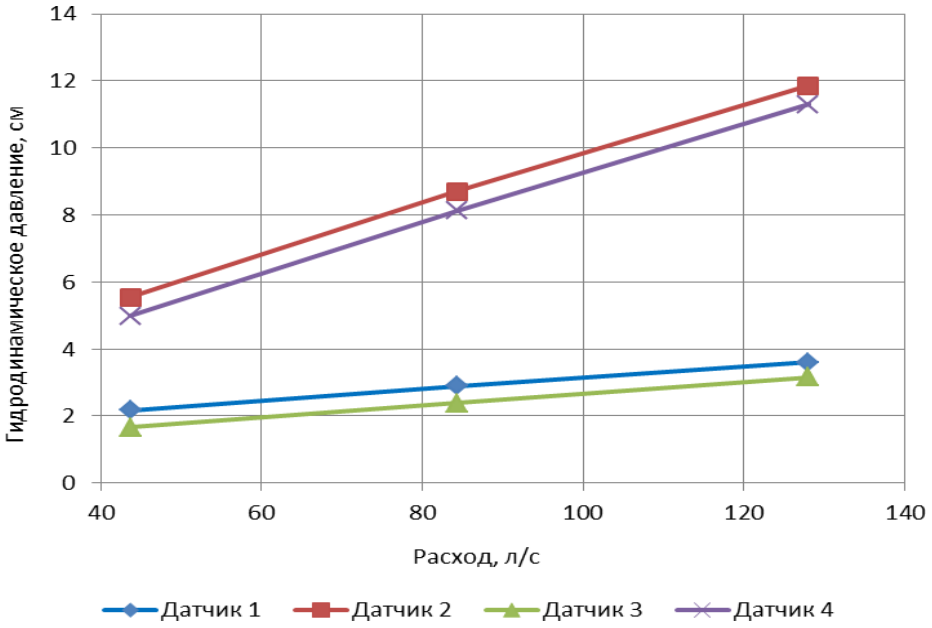


Рис. 2 Зависимость гидродинамического давления от расхода

Было получено, что результаты исследования соответствуют общим закономерностям изменения давления. Также было получено, что с увеличением расхода воды увеличивается гидродинамическое давление и при этом наблюдается, что гидродинамическое давление на дне канала больше, чем на откосе. Расположенный под креплением канала датчик показывал значение гидродинамического давления меньшее чем датчик, расположенный на одном уровне с поверхностью покрытия, что объясняется гашением части давления покрытием. В таблице 2 представлены данные о давлениях, которые создаются потоком воды и определяется разницей показаний датчиков, находящихся на одном уровне с покрытием и под ним.

Таблица 2

Разница гидродинамических давлений, определенных над покрытием и под покрытием

Расход Q, л/с	Гидродинамическое давление, датчик на уровне с покрытием, см	Гидродинамическое давление, датчик под покрытием, см	Разница давлений, см	Превышение гидродинамического давления в %
Датчик на дне (1 и 2 датчик)				
43,7	5,537	2,169	3,368	60,9
84,33	8,702	2,889	5,813	66,9
128,03	11,865	3,609	8,256	69,6

Датчик на откосе (3 и 4 датчик)				
43,7	4,987	1,669	3,318	66,7
84,33	8,132	2,389	5,743	70,7
128,03	11,305	3,159	8,146	72,1

Значения гидродинамического давления, которые представлены в таблице позволяют сделать вывод, что в диапазоне исследованных расходов отсутствует опасность воздействия пульсационного давления потока на нижнюю часть поверхности покрытия, а следовательно угроза разрушения русла канала отсутствует.

Библиографический список

1. Жукова, Т.Ю. Применение облицовочных одежд для защиты прибрежных участков водных объектов / Т. Ю. Жукова, Н. В. Ханов // Инновационные технологии и повышение эффективности производственных процессов в сфере строительства, природообустройства и агроинженерии: Материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 14 ноября 2025 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2025. – С. 15-19.
2. Жукова, Т.Ю. Применение современных облицовочных одежд откосов на склонах территории / Т. Ю. Жукова // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии: Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 39-43.
3. Жукова, Т.Ю. Методика исследования фильтрационных характеристик противоэрозионных покрытий / Т.Ю. Жукова, А.В. Еремеев // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии: Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 20-23.
4. Результаты экспериментальных исследований шероховатости геоматов, заполненных щебнем с вяжущим заполнителем и грунтом с пророщенным райграсом / Т.Ю. Жукова, А.В. Еремеев, Н.В. Ханов [и др.] // Мелиорация и гидротехника. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 366-379.
5. Гурьев А.П. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / Гурьев А.П., Ханов Н.В., Еремеев А.В., Козлов К.Д., Фартуков В.А., Щукин С.Н./ М.: РГАУ МСХА, 2020. - 253 с.
6. Козлов К.Д. Исследования гидродинамического воздействия водного потока на защитное покрытие из геосинтетического материала / К.Д. Козлов, Н.В. Ханов, В.А. Фартуков, Д.В. Козлов // Строительство: наука и образование. – 2018. – № 1. – С. 108-117.

УДК: 504.05/06;556

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ ПРИТОКОВ РЕКИ НИГЕР В ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Силла Амаду, *аспирант кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева amadousyllasylla165@gmail.com*

Научный руководитель: Матвеева Татьяна Ивановна, *к.т.н., доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,*

Аннотации: *Исследование анализирует почвы бассейнов Тинкиссо, Ниандана и Мило в Гвинее и их гидрологическое воздействие. Тинкиссо имеет суглинистые почвы, способствующие удержанию воды, в то время как Ниандан характеризуется более уязвимыми к засухе почвами. Мило занимает промежуточное положение. Эти результаты важны для управления водными ресурсами и сельского хозяйства.*

Ключевые слова: *почвы, Гвинея, Западная Африка, Нигер*

Введение. Гвинейские водосборные бассейны притоков Нигера (Тинкиссо, Ниандан, Мило) играют ключевую гидрологическую и географическую роль. Расположенные в Верхней Гвинее, их площади составляют соответственно около 19 300 км², 12 700 км² и 13 200 км². Они питают Нигер несколькими миллиардами кубических метров воды в год, влияя на экологическое равновесие, водоснабжение и продовольственную безопасность [1,2]. Климат здесь отличается ярко выраженной сезонностью: от 1200 до 2000 мм осадков в год (влажный сезон с мая по октябрь), температура +28–32 °C, сильное испарение и транспирация, а также гидрологическая изменчивость [3, 4]. Свойства почв (текстура, химический состав, глубина, водоудерживающая способность, водопроницаемость) обусловливают как сельскохозяйственную продуктивность, так и гидрологические процессы. Эти бассейны включают главным образом ферраллитные, аллювиальные и скелетные почвы, которые контролируют инфильтрацию, сток и пополнение водоносных горизонтов [3].

Цель данного исследования — проанализировать типы почв водосборных бассейнов рек Тинкиссо, Ниандана и Мило, оценить их физико-химические свойства и определить их роль в гидрологических и экологических процессах. Результаты помогут в устойчивом управлении водными ресурсами, охране окружающей среды и сельскохозяйственном планировании в условиях растущего климатического и антропогенного давления.

Материалы и методы. Водосборные бассейны рек Тинкиссо, Ниандана и Мило расположены в регионе Верхняя Гвинея, на северо-востоке страны, и представляют собой основные суббассейны реки Нигер, гвинейский бассейн которой определяет главные гидрологические динамики Западной Африки [5, 3, 6].

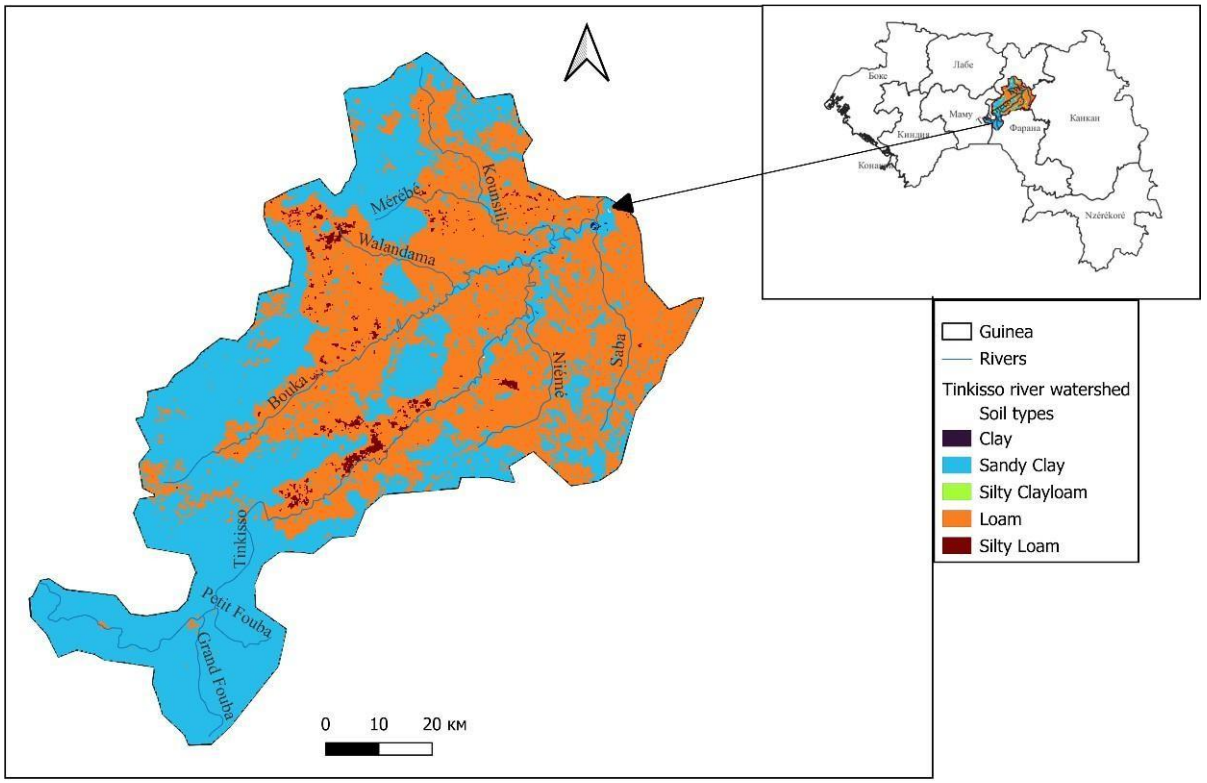
Границы бассейнов были выделены с использованием данных HydroBASINS, интегрированных в географическую информационную систему. Пространственный анализ проводился с помощью программного обеспечения QGIS (версия 3.44.3). Данные о структуре почв (глина, ил, песок) получены из базы SoilGrids (ISRIC, 2024) в растровом формате. Растры были обрезаны по границам каждого бассейна с помощью инструмента «Clip raster by mask». С помощью зональной статистики были извлечены средние значения текстуры для каждого бассейна. Морфометрический анализ позволил охарактеризовать площади и распределение типов почв. Затем данные были структурированы в виде матрицы (бассейны × типы почв). Для обеспечения сопоставимости данных была применена стандартизация переменных (центрирование и нормирование). Наконец, для выявления градиентов изменчивости почв и сравнения бассейнов был проведен анализ главных компонентов (АГК) в среде RStudio с использованием пакетов FactoMineR и factoextra.

Результаты и обсуждение. Морфометрическая характеристика водосборных бассейнов (рис. 1-3).

В верхней части бассейна реки Тинкиссо (рис.1) преобладают песчанистые глины, в средней и нижней частях тяжелые суглинки.

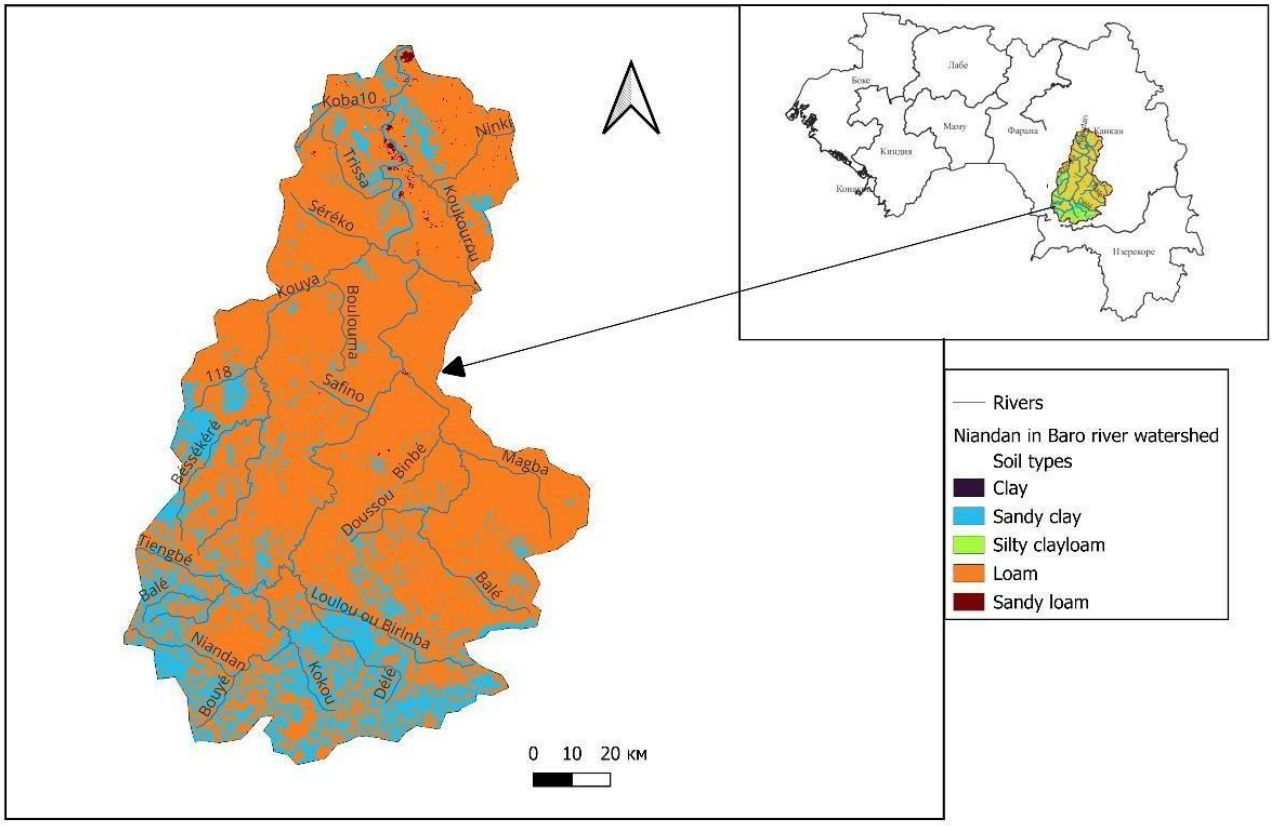
Верховье бассейна Ниандан (рис. 2) представлено песчанистыми глинами с илистыми вкраплениями. В средней и нижней части бассейна реки преобладают суглинки с вкраплениями глины, изредка встречаются глины с прослойками песка.

На рисунке 3 водосборного бассейна реки Мило тяжелые суглинки местами суглинки с прослойками глины, в среднем течении суглинки, в нижнем течении суглинки местами присутствуют супеси.



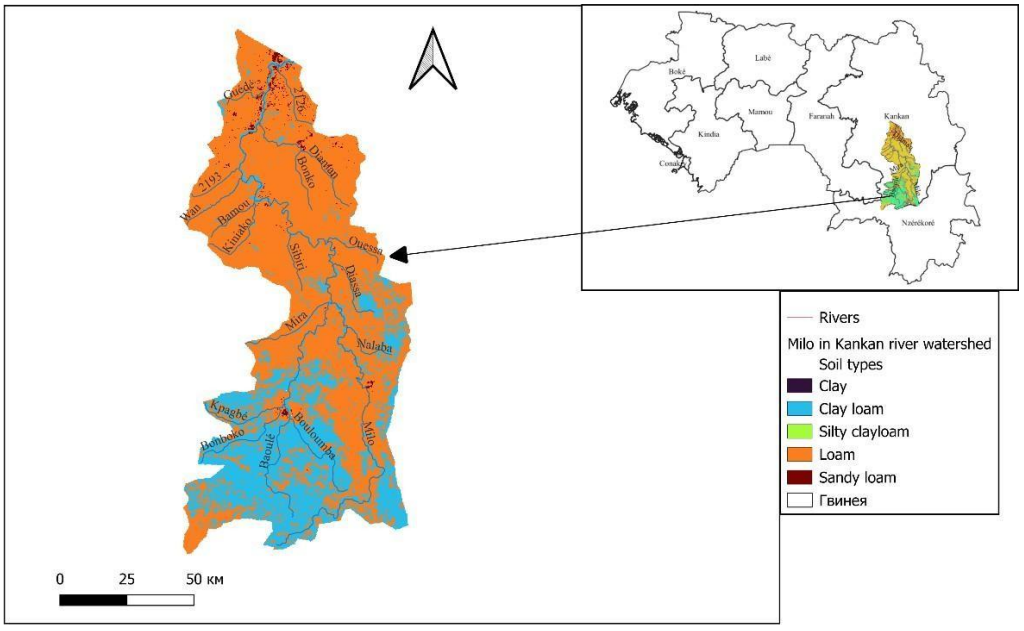
Силла Амаду, исследователь в области окружающей среды и управления водными ресурсами аспирант PhD, Россйкого Государственного Аграрного Университета - РГАУ - МСХА имени К , А, Тимирязева

Рис.1. Картография текстуры почвы водосборного бассейна Тинкиссо



Силла Амаду, исследователь в области окружающей среды и управления водными ресурсами аспирант PhD, Россйкого Государственного Аграрного Университета - РГАУ - МСХА имени К , А, Тимирязева

Рис. 2. Картография текстуры почвы водосборного бассейна Ниандана



Силла Амаду, исследователь в области окружающей среды и управления водными ресурсами аспирант PhD, Российкого Государственного Аграрного Университета - РГАУ - МСХА имени К , А, Тимирязева

Рис. 3. Картография текстуры почвы водосборного бассейна Мило

Бассейн Тинкиссо предлагает наилучшие условия для накопления воды благодаря преобладанию тяжелого суглинка и песчанистые глины. Эти почвы обеспечивают отличную водоудерживающую способность и умеренную инфильтрацию, минимизируя быстрые потери. Ниандан, где преобладает суглинок с небольшим количеством илистых и песчаных включений, является наиболее уязвимым. Его быстрая инфильтрация и низкая удерживающая способность усугубляют последствия засухи. Бассейн Мило занимает промежуточное положение его реакция на климатические колебания остается умеренной.

Заключение. Исследование выявляет дифференциацию бассейнов Тинкиссо, Ниандана и Мило в зависимости от структуры почв. Тинкиссо, где преобладают глинисто - суглинистые почвы, обладает высокой водоудерживающей способностью и лучшей гидрологической стабильностью. Ниандан, характеризующийся более уязвим к засухе из-за быстрой инфильтрации. Мило занимает промежуточное положение со смешанными свойствами. Эти результаты подтверждают важность почв в устойчивом управлении водными ресурсами.

Библиографические ссылки

1. République de Guinée, Ministère de l'énergie et de l'hydraulique, AFD, Rapport final Décembre 2015. Définition d'une stratégie de développement du potentiel hydroélectrique de la Guinée. Pages 20. https://www.sieguinee-dne.org/images/Strategie_HydroGuinee_RapportFinal_partie_1a.pdf

2. Ferry, Luc, et al. “Plaine Alluviale Du Niger Supérieur et Mare de Baro (Guinée): Fonctionnement Hydrologique, Gestion Traditionnelle Des Ressources et Perspectives Après-Barrage.” Territoire En Mouvement, nos. 25–26, Mar. 2015. DOI.org (Crossref), https://doi.org/10.4000/tem.2786.

3. République de Guinée, Octobre 2001. Source Niger, Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Pages 12.
https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/GN1165RIS.pdf

4. Y. BRUNET-MORET P. CHAPERON J.P. LAMAGAT M. MOLINIER, paris 1986. MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DU FLEUVE NIGER. Pages 410. http://www.hydrosciences.fr/sierem/Bibliotheque/biblio/Monographies/N%C2%B08-Monographie%20du%20Niger%20Tome%201.pdf

5. Dr. Diallo Telli, consultant, Conakry/ Guinée, Août 2001, Autorité du Bassin du Niger (ABN), Direction Nationale des Ressources en Eau (DNGRE) République de Guinée. Étude des Aspects socio-économiques dans la zone du bassin du Niger en République de Guinée. Pages 52.

6. E. WYMENGA, M. L. DIAWARA et all, 2017. Ecological hotspots in the upper Niger Basin and Inner Niger Delta II. Existing data and information. Pages 97

УДК 627.882

РЫБОЗАЩИТНАЯ КАССЕТА С ГИБКИМ ФИЛЬТРУЮЩИМ ЭКРАНОМ

***Мякшин Николай Александрович**, аспирант кафедры сельскохозяйственного строительства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, miashin_na@rgau-msha.ru*
***Михеев Павел Александрович,** профессор кафедры сельскохозяйственного строительства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, mikheev.pa@gmail.com*

***Аннотация.** Рассматривается конструктивная схема рыбозащитной кассеты водозаборного сооружения в форме гибкого фильтрующего экрана, защищенной патентом на полезную модель, реализуемой в виде гирлянд из пластмассовых шариков различного диаметра, закреплённых на подвижных стенках подвесного каркаса кассеты.*

***Ключевые слова:** рыбозащитная кассета, молодь рыб, водозабор.*

Надёжная защита молоди и взрослых особей рыб при заборе воды для нужд орошения, водоснабжения и энергетики остаётся одной из ключевых задач современного гидротехнического строительства. В условиях усиливающихся климатических изменений и участившихся экстремальных гидрологических ситуаций изменяются режимы стока, мутность и температурный режим водных объектов, что отражается на состоянии речных экосистем и структуре ихтиофауны, а также на требованиях к рыбозащитным сооружениям [1]. Параллельно возрастает роль цифровых технологий мониторинга и управления, позволяющих адаптивно подстраивать режимы работы рыбозащитных устройств к текущим условиям [2, 3].

Среди различных типов рыбозащитных сооружений особое место занимают фильтрующие устройства, в которых защита рыб достигается за счёт формирования малых скоростей движения потока с помощью фильтрующего экрана с засыпкой, как правило, в виде щебня или керамзита. Практика эксплуатации таких сооружений показывает, что основными ограничивающими факторами их использования являются неравномерность распределения скоростей по фронту фильтрации, устойчивость геометрии фильтрующего слоя при засорении и невозможность его промывки без демонтажа, и значительный вес конструкций. Разработка фильтрующих кассет с заполнителем из пластмассовых шариков позволила расширить спектр конструкций и повысить надежность и эффективность использования устройств [4].

В работах [5, 6] предложена методика обоснования параметров фильтрующих кассет рыбозащитного устройства с загрузкой пластмассовых шариков, основанная на принципах теории плотнейших укладок и анализе предельных форм оседания плавающей загрузки. Такая постановка задачи позволяет связать толщину фильтрующего слоя, габариты ячейки кассеты и свободное пространство под фильтром с условиями промывки и устойчивостью фильтрующего экрана. Вместе с тем прототипы промышленно освоенных рыбозащитных кассет сохраняют жёсткую конструкцию короба и используют шарики одного диаметра, что ограничивает возможности управляемой деформации фильтрующего слоя в процессе промывки и регулирования проницаемости по толщине фильтра.

В настоящей работе рассматривается рыбозащитная кассета (рисунок 1), реализованная в виде подвесного каркаса с подвижными стенками на пружинах и гибким фильтрующим

пространством из гирлянд пластмассовых шариков, диаметр которых возрастает по направлению движения потока при водозаборе [7].

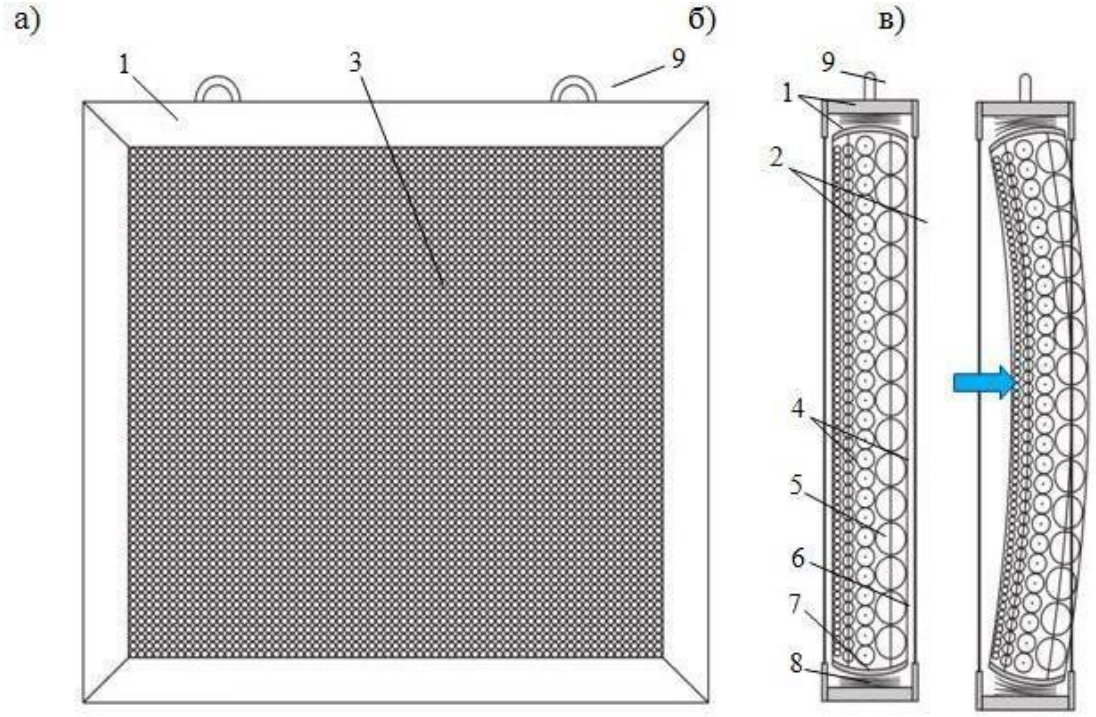


Рис. 1 Схема устройства рыбозащитной кассеты
а – план кассеты; б – поперечный разрез в стационарном положении;
в – тоже в процессе водозабора;
1 – опорная рама; 2 – подвесной каркас; 3 – фильтрующий экран; 4 – гирлянды пластмассовых шариков; 5 – отверстия; 6 – пластмассовые нити; 7 – подвижная стенка;
8 – пружина; 9 – монтажные петли; ⇨ направление водозаборного потока

Цель исследования – обосновать принципиальные конструктивные решения такой кассеты, описать её работу в режимах забора воды и промывки, а также показать возможности сопряжения механизмов промывки с цифровыми средствами мониторинга и управления режимами работы рыбозащитного устройства.

Конструкция включает опорную раму, в которой посредством пружин закреплён каркас с подвижными стенками по периметру. Внутреннее фильтрующее пространство каркаса заполняется пластмассовыми шариками, соосно соединёнными в гирлянды. Концы гирлянд крепятся к подвижным стенкам, формируя слои фильтрации, чередующиеся по ориентации гирлянд по вертикали и горизонтали и различающиеся по диаметру шариков. При этом диаметр шариков каждого последующего слоя увеличивается в направлении движения потока воды при водозаборе, а отдельные слои фиксируются между собой пластмассовыми клипсами, исключающими расслоение в процессе работы и промывки кассеты.

Анализ конструктивной схемы кассеты выполнялся в сопоставлении с ранее исследованными ячейками фильтров с плавающей загрузкой, где геометрические параметры задавались через диаметр шарика, коэффициент наполнения и предельные формы оседания слоя [6]. Такой подход позволяет использовать аппарат теорию фильтрации через пористые среды и теорию плотнейших укладок для качественной оценки диапазона изменения пористости и высоты фильтрующего слоя в условиях деформируемых стенок. В рамках настоящей работы расчётные соотношения использовались для подбора относительных толщин слоёв фильтрации и оценки резерва свободного пространства между фильтрующим экраном и корпусом кассеты, необходимого для надёжной промывки.

Ключевое конструктивное отличие рассматриваемой рыбозащитной кассеты от существующих решений, гибкость фильтрующего пространства, позволяет улучшить условия эксплуатации. Под действием напора при водозаборе фильтрующее пространство каркаса изгибается в сторону водоприёмника за счёт деформации пружин и смещения подвижных стенок [7]. Шарики напорного слоя меньшего диаметра уплотняются, уменьшая проницаемость и вероятность поподания молоди в водозабор, в то время как шарики подпорного слоя большего диаметра раздвигаются, обеспечивая достаточную пропускную способность для воды. Тем самым формируется градиент пористости по толщине фильтра, позволяющий совместить жёсткие требования к рыбозащитной функции на входной границе с приемлемыми гидравлическими потерями по всему сечению кассеты.

При промывке кассеты обратным током воды, фильтрующий экран изгибается в противоположную сторону, напорный слой разуплотняется, а подпорный становится более плотным, что сопровождается изменением положения шариков относительно друг друга и механическим отделением частиц заиления от поверхности шариков. Последовательная смена положений шариков в слоях с различным диаметром создаёт сложное поле сдвиговых и контактных напряжений, способствующих разрушению и выносу отложений за пределы кассеты, при этом сохраняется целостность гирлянд и пространственная устойчивость фильтрующего пространства. В отличие от жёстких кассет с насыпной загрузкой, промывка в данном случае достигается без применения дополнительного водоструйного устройства и без полной разгрузки фильтрующего материала, что потенциально сокращает расход воды на промывку и объём регламентных работ.

Наличие нескольких слоёв гирлянд с различным диаметром шариков позволяет реализовать по толщине кассеты последовательность зон с уменьшающимся размером фильтрующих зазоров по направлению к напорной границе и увеличивающейся по направлению к подпорной. Для молоди рыб это означает, что траектория подхода потока к кассете сопровождается постепенным снижением скорости течения и частоты возможных контактов с шариками, обладающими достаточно гладкой поверхностью. Такой режим взаимодействия уменьшает вероятность травмирования, обеспечивает условия для ухода рыб за пределы зоны влияния водозабора, что отвечает требованиям к рыбозащитным устройствам [1].

Дополнительно рассматривалась возможность оснащения кассеты системой цифрового мониторинга, аналогичной предложенной ранее для комплексных рыбозащитных устройств электрического воздействия. В эту систему включаются датчики перепада уровней до и после кассеты, регистрирующие степень засорённости фильтра, датчики расхода и мутности, а также контроллер, реализующий алгоритмы управления режимами промывки и переключения секций. Использование накопленных данных об эксплуатации кассеты позволяет адаптировать режимы промывки к сезонным изменениям мутности и биологической нагрузке в условиях изменяющегося климата и поведенческой реакции рыбы [2-3].

Интеграция цифровой системы мониторинга с рассматриваемой конструкцией позволяет сделать работу кассеты более управляемой и предсказуемой. Непрерывная регистрация перепада уровней и расхода на секциях даёт возможность фиксировать моменты начала интенсивного засорения фильтрующего экрана и инициировать промывку до наступления критического роста гидравлических потерь, что особенно важно при работе в условиях нестабильного стока и повышенной мутности. Накопленные данные об истории работы каждой кассеты, сопоставленные с гидрологическими условиями, формируют основу для адаптивных алгоритмов управления, способных заранее подстраивать режимы промывки к ожидаемым периодам повышенной нагрузки в водоёме.

Рассмотренная конструкция рыбозащитной кассеты с гибкой фильтрующей поверхностью на основе гирлянд из пластмассовых шариков различного диаметра, позволяет объединить в одном устройстве функции надёжной защиты молоди рыб, адаптивного регулирования пористости фильтрующего слоя и эффективной промывки без подъема кассеты. Применение подхода, базирующегося на теории плотнейших укладок и анализе

предельных форм оседания плавающей загрузки, обеспечивает обоснованный выбор геометрических параметров фильтрующего слоя.

Сочетание механизмов промывки устройства с цифровыми средствами мониторинга и управления позволяет рассматривать рыбозащитную кассету с гибкой фильтрующей поверхностью как элемент более широкой киберфизической системы управления водозаборным сооружением, которая способствует повышению надёжности и эффективности защиты водных биоресурсов и снижение эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: свод правил СП 101.13330.2023. М.: Минстрой России, 2023. 169 с.
2. Мякшин Н. А. Цифровые технологии по управлению рыбозащитным сооружением на водозаборе Комсомольской оросительной системы, Марксовский район, Саратовская область // Сборник трудов, приуроченных к 77-й Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвящённой 150-летию А. Г. Дояренко. Москва: РГАУ МСХА им. К. А. Тимирязева, 2024. С. 134–136.
3. Мякшин Н. А. Влияние изменения климата на экосистемы водоёмов: роль цифровых технологий в мониторинге и адаптации // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 3. С. 102–113.
4. Картузова Т. Д., Свиридов Е. Н. Регулирование фильтрационных характеристик фильтрующих рыбозащитных устройств // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны: труды Акад. проблем водохоз. наук. 2005. Вып. 5. С. 68–73.
5. Михеев П. А., Боровской В. П. Анализ возможностей фильтрующего рыбозащитного устройства при горизонтальном размещении кассет // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10, вып. 3. С. 11–15.
6. Боровской В. П., Михеев П. А. Обоснование параметров ячейки фильтрующей кассеты рыбозащитного устройства с плавающей загрузкой // Гидротехническое строительство. 2024. № 6. С. 41–50. DOI: 10.34831/EP.2024.62.31.007.
7. Патент на полезную модель 237610 U1 Российская Федерация, МПК E02B 8/08. Рыбозащитная кассета / П. А. Михеев, А. И. Перелыгин, А. Е. Ушаков, Н. А. Мякшин; заявитель ООО "ВРЖ". Опубл. 29.09.2025.

УДК 628.16.081

АЭРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА

***Рузаков Павел Дмитриевич**, аспирант кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, paruz.official@yandex.ru.*
***Михеев Павел Александрович**, профессор кафедры сельскохозяйственного строительства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, mikheev.pa@gmail.com.*

***Аннотация:** Приведены результаты патентного поиска, конструкция и принцип работы аэрационной установки на основе использования солнечной энергии для условий удалённых акваторий, например, рыбоводных прудов и декоративных водоёмов. Конструкция защищена патентом на полезную модель.*

***Ключевые слова:** аэрация; водоемы; солнечная энергия; патентный анализ.*

Традиционные механические, диффузионные и циркуляционные системы аэрации воды обеспечивают высокую производительность, однако их применение ограничено необходимостью использования электроэнергии, высокими капитальными и операционными

затратами, а также сложностью конструкции, требующей квалифицированного обслуживания. В условиях удалённых акваторий, например, рыбоводных прудов и декоративных водоёмов возникает потребность в полностью автономных, энергонезависимых и технологически простых устройствах, способных функционировать без постоянного вмешательства оператора, как правило, на основе использования возобновляемых источников энергии.

В данной статье приведен анализ существующих аэрационных установок по результатам тематического патентного поиска, а также предложена новая конструкция аэратора, основанная на использовании солнечной энергии, в рамках реализации концепции кафедры сельскохозяйственного строительства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по использованию возобновляемых источников энергии для сохранения естественных водоисточников.

Прежде всего, был проведён сравнительный анализ нескольких десятков патентов на аэрационные установки, охватывающих разработки из США, Китая, Японии, Южной Кореи и России, позволил систематизировать основные технологические ограничения, присущие современным решениям. Частотный анализ показал, что наиболее распространёнными недостатками являются: зависимость от внешних климатических и гидрологических условий (31% случаев), ограниченная производительность (28%), конструктивная сложность и высокие требования к обслуживанию (24%), необходимость во внешних источниках энергии или дополнительном оборудовании (21%), а также подверженность элементов биообрастанию и механическому засорению (17%).

Автономные системы на возобновляемых источниках энергии (солнечные: US6676837B2, RU52848U1; ветровые: US20100320626A1, RU2082683C1, RU2471724C1) устраняют зависимость от электросети, но их производительность нестабильна и определяется метеорологическими условиями. Кроме того, многие многофункциональные решения характеризуются сложной пневматической или электронной системой управления, что снижает надёжность и увеличивает стоимость владения [1,2].

Механические аэраторы (US5116501A, KR101670141B1) обеспечивают высокую производительность, но требуют постоянного электроснабжения, создают шум и вибрацию, а также представляют риск травмирования гидробионтов [3].

Диффузионные системы (US6367783B1, US6372140B2, RU2231499C2) демонстрируют высокую эффективность передачи кислорода, однако их работоспособность напрямую зависит от мощности компрессора, качества подаваемого воздуха и регулярной очистки пор от биоплёнки.

Циркуляционные аэраторы (CN2565815Y, CN202857575U, CN2563151Y) эффективно устраняют температурную стратификацию и ликвидируют застойные зоны в водоёмах, обеспечивая равномерное перемешивание водных слоёв, однако аэратор лишь перераспределяет уже имеющийся в водоёме растворённый газ, не добавляя его извне [4].

На кафедре сельскохозяйственного строительства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева разработана линейка устройств для аэрации придонных слоев воды, например, патенты RU214200U1 и RU232338 U1, основанных на использовании солнечной энергии [5, 6]. Однако оценка условий использования данных конструкций показал, что, несмотря на наличие преимуществ, связанных с отсутствием при работе энергозатрат и эффективности подачи воздуха в водоём, работа устройств отличается цикличностью с продолжительностью рабочего цикла до трех часов, что значительно ограничивает возможности их использования.

На основе проведённого анализа сформулирована цель исследования: создание новой аэрационной установки, системно устраняющей выявленные недостатки существующих аналогов, и прежде всего исключение цикличности работы с сохранением эксплуатационной надёжности и достаточной производительность для поддержания качества воды в малых и средних водоёмах.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

– разработка конструкции, на основе использования солнечной энергии с обеспечением условий непрерывного процесса аэрации водоёмов;

– лабораторные экспериментальные исследования по оптимизации параметров конструкции;

– оценка работоспособности опытного образца в натурных условиях хозяйственного водоёма.

В настоящей работе представлены результаты реализации первой задачи, а именно разработки конструкции, обеспечивающей непрерывность процесса аэрации. Принцип действия устройства основан на сочетании термодинамического расширения воздуха под воздействием солнечных лучей и капиллярно-испарительного цикла влаги, поступающей из водоёма. Конструкция представлена на рисунке 1, защищена патентом на полезную модель RU240105U1 [7].

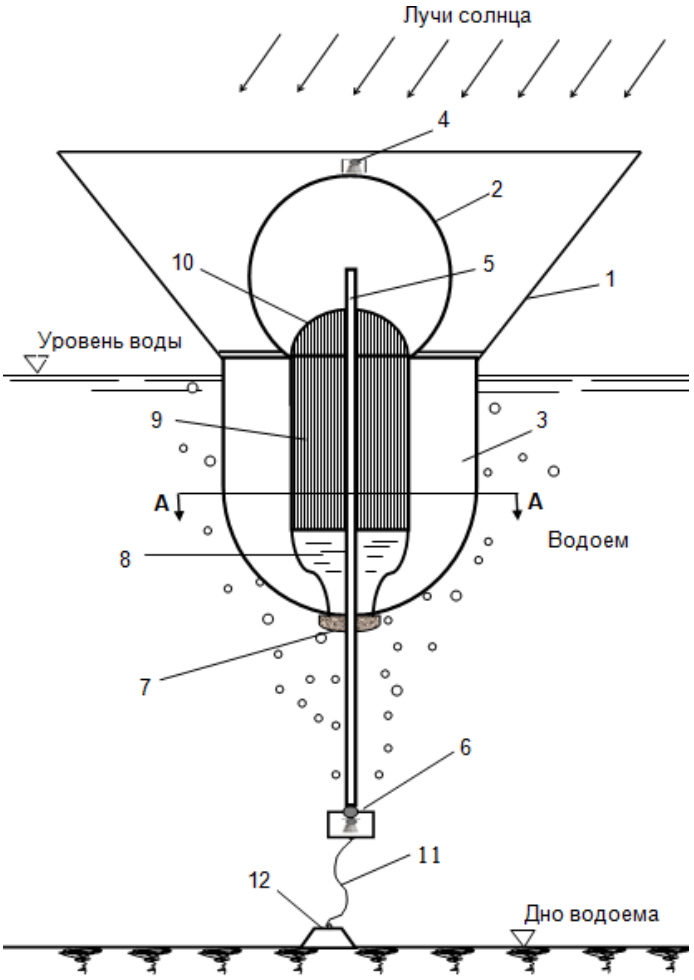


Рис. 1. Устройство для аэрации придонных слоев воды

1 – светоотражающий колпак; 2 – емкость-накопитель; 3 – поплавок; 4 – впускной клапан; 5 – труба-воздуховод; 6 – клапан-распылитель; 7 – фильтр; 8 – ниша; 9 – капиллярная кассета; 10 – свободная поверхность; 11 – трос; 12 – якорь

Солнечное излучение нагревает поверхность металлической ёмкости-накопителя при этом наличие светоотражающего колпака, обеспечивающего отражение солнечных лучей, проходящих через открытое верхнее пространство усиливает излучение, что приводит к повышению температуры и расширению воздуха внутри замкнутого объёма. Расширенный воздух под избыточным давлением поступает через трубку-воздуховод в придонный слой водоёма, где посредством формирования пузырьков, обеспечивается аэрация воды. По достижении максимального объёма расширения воздушной полости давление стабилизируется. Вода из водоёма начинает подниматься по капиллярной структуре кассеты в полость ёмкости-накопителя. На свободной поверхности капиллярной кассеты внутри

ёмкости происходит испарение воды, что приводит к образованию водяного пара, компенсирующего объем вышедшего воздуха, таким образом обеспечивая продолжение аэрационного процесса после завершения фазы теплового расширения сухого воздуха. Наличие фильтра на входе в нишу капиллярной кассеты, обеспечивает защиту капилляров от засорения взвешенными наносами и мелкими загрязнениями, находящимися в речной воде, что увеличивает продолжительность работы устройства без профилактического обслуживания. Расположенное на поплавке устройство свободно перемещается в пределах длины якорного троса обеспечивая аэрацию соответствующего водного пространства.

На этапе лабораторных исследований планируется тестирование заполнителя капиллярной кассеты в виде композитных материалов, керамических и других пористых элементов, что позволит оптимизировать конструкцию кассеты, а в ходе натурных экспериментов дать эксплуатационную оценку устройства в целом и угрозы биообрастания в условиях хозяйственного водоёма.

Таким образом, анализ патентной информации выявил ключевые недостатки современных аэраторов: зависимость от внешних условий, конструктивную сложность и высокие затраты. Предложенное аэрационное устройство работает от энергии солнца и в отличие от ранее исследованных конструкций позволит исключить цикличность работы, оптимальные параметры которой будут установлены в ходе лабораторных и натурных экспериментов.

Библиографический список

1. Патент № US20100320626A1 США, ENERGY-SAVING AND WIND-POWERED № US20100320626A1 заявл. 14.04.2010: опубл. 23.12.2010 / Shih-Hsiung Chen; заявитель Jetpro Tech Inc – 11 с.: ил.

2. Патент № RU2471724C1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00 (2006.01), Способ аэрации воды и устройство для его осуществления № RU2471724C1 заявл. 22.09.2011: опубл. 10.01.2013 / Таран П.А.; – 6 с.: ил.

3. Патент № KR101670141B1 Южная Корея, Paddle Wheel Aerator For Aquaculture of Eel № KR101670141B1 заявл. 17.12.2014: опубл. 27.06.2016 / 박준택 김춘철 임종악 김영훈 이경우; – 10 с.: ил.

4. Патент № CN202857575U Китай, Water spraying type aerator № CN202857575U заявл. 28.09.2012: опубл. 10.04.2013 / 陈孟民; заявитель TIANJIN MINFENG AQUATIC PRODUCTS CO Ltd – 5 с.: ил.

5. Патент № RU214200U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00 (2006.01), B01F 23/231 (2022.01) Устройство для аэрации придонных слоев воды № RU214200U1 заявл. 06.05.2022: опубл. 14.10.2022 / Петрашкевич В.В., Михеев П.А., Бенин Д.М. и др.; – 5 с.: ил.

6. Патент на полезную модель № 232338 U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Устройство для аэрации придонных слоев воды: заявл. 02.10.2024: опубл. 07.03.2025 / П. А. Михеев, Н. А. Коноплин, Д. М. Бенин [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева – 5 с.: ил.

7. Патент № RU240105U1 Российская Федерация, МПК C02F 7/00 (2006.01), Устройство для аэрации придонных слоев воды: № RU240105U1 заявл. 23.07.2025: опубл. 24.12.2025 / Михеев П.А., Рузаков П.Д.; заявитель ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева – 4 с.: ил.

УДК 556.55:528.8

SENSITIVITY-AWARE DELINEATION OF LAKE BOUNDARIES USING DEM AND MNDWI

Alsaady Majd, *Postgraduate student at the department of hydraulics, hydrology and water resources management. Institute of land reclamation, water management and construction named after A.N. Kostyakov. Russian state agrarian university – Moscow state agricultural university named after K.A. Timiryazev, majd.alsaady@mail.ru*
Perminov Alexey Vasilievich, *PhD, Associate Professor at the department of hydraulics, hydrology and water resources management. Institute of land reclamation, water management and construction named after A.N. Kostyakov. Russian state agrarian university – Moscow state agricultural university named after K.A. Timiryazev*

Abstract: *This study presents a sensitivity-aware approach for delineating and validating lake boundaries using Copernicus DEM and Landsat 8 imagery. A DEM-based thresholding method was applied to extract the potential lake basin, while surface water was detected using the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). Particular attention was given to how changes in elevation and classification thresholds influence the resulting lake extent. Several thresholds were tested iteratively, and the final selection was guided by spatial consistency with satellite-derived water. Multiple Landsat scenes were also analyzed to account for temporal variability. The results show consistent spatial agreement, with satellite-derived water fully contained within the DEM-derived boundary, although estimated area varied depending on parameter choice. The approach provides a simple and reproducible workflow for sensitivity-aware lake boundary assessment.*

Keywords*: Lake delineation, DEM, MNDWI, Landsat 8, GIS, temporal analysis, uncertainty analysis*

Delineation of lake boundaries is an important step in hydrological analysis and environmental monitoring, especially in regions where field data are limited. Remote sensing offers practical tools for identifying surface water by combining topographic information from Digital Elevation Models (DEMs) with spectral indices such as NDWI (McFeeters, 1996) and its modified form MNDWI (Xu, 2006). These methods make it possible to distinguish between the potential extent of a basin and the actual water surface observed at a given time. Previous large-scale studies have demonstrated the reliability of satellite-based approaches for monitoring surface water dynamics (Pekel et al., 2016) [1-4].

In this work, lake boundaries were derived using Copernicus DEM data (Copernicus Programme, 2020) together with Landsat 8 imagery. The DEM-based delineation was carried out by applying a series of elevation thresholds to identify the topographic basin. Rather than relying on a single predefined value, thresholds were adjusted step by step, and the resulting masks were evaluated visually and spatially. After conversion to vector format, small disconnected features were removed, and only the largest polygon was retained as the main lake boundary.

Surface water extraction was performed using MNDWI, calculated from green and shortwave infrared bands. Different classification thresholds were tested to understand how sensitive the detected water extent is to parameter selection. The resulting water masks were converted into vector polygons, and minor artifacts were removed so that only the primary water body remained.

To assess the reliability of the results, both sensitivity and temporal analyses were carried out. Small changes in elevation threshold produced noticeable differences in the size of the delineated lake, confirming that DEM-based methods are highly sensitive to parameter choice. A similar effect was observed for MNDWI classification thresholds, particularly along shallow or transitional zones where water detection is less stable. In addition, several Landsat scenes from different dates were processed to capture changes in lake extent over time.

Comparison between the two approaches shows a consistent spatial relationship. The MNDWI-derived water polygons were always located within the DEM-derived boundary. This suggests that the DEM captures the potential maximum extent of the lake, while the satellite-derived result reflects the actual water surface at the moment of image acquisition. At the same time, differences in total area were observed. These differences are likely related to variations in water level, limitations in detecting shallow or turbid water, and the inclusion of marginal zones in the DEM-based boundary.

The results indicate that combining DEM and spectral indices provides a practical way to interpret lake extent from both a geomorphological and observational perspective. The workflow is relatively simple and can be applied quickly, which makes it suitable for preliminary assessments. At the same time, the sensitivity of the results to parameter selection highlights the importance of careful calibration and comparison with satellite observations.

References

1. McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing*. – 1996. – Vol. 17, No. 7. – P. 1425–1432.
2. Xu H. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // *International Journal of Remote Sensing*. – 2006. – Vol. 27, No. 14. – P. 3025–3033.
3. Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // *Nature*. – 2016. – Vol. 540. – P. 418–422.
4. Copernicus Programme. Copernicus Digital Elevation Model (DEM) – Product Handbook. – European Space Agency, 2020.

УДК 627.8:528.7:629.7.05

БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В МОНИТОРИНГЕ ГРУНТОВЫХ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ ДАМБ

Беда Д.А., *аспирант кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, e-mail: beda_moscow007@mail.ru*

Аннотация: *В статье предложена обновленная организационно-методическая схема применения беспилотных авиационных систем при контроле состояния грунтовых противопаводковых дамб. В отличие от традиционного маршрута визуальных обходов, рассматривается риск-ориентированная модель наблюдений, в которой интенсивность съемки зависит от гидрологического прогноза, фактической динамики уровня воды и технического состояния сооружения. Цель исследования состоит в разработке структуры мониторинга, обеспечивающей раннее выявление деформаций, фильтрационных проявлений и участков возможного размыва. Методологическую основу составляют системный анализ, фотограмметрическая обработка материалов аэросъемки, тепловизионная диагностика, сопоставление цифровых моделей поверхности и классификация дефектов по степени опасности. Показано, что применение БАС позволяет перейти от эпизодического обследования дамб к регулярному пространственно привязанному контролю, пригодному для оперативного принятия инженерных решений в предпаводковый, паводковый и постпаводковый периоды.*

Ключевые слова: *грунтовые дамбы, беспилотные авиационные системы (БАС), мониторинг, единая система эксплуатации, противопаводковая защита, верификация прогноза, тепловизионный контроль, трансграничные реки.*

Введение

Грунтовые противопаводковые дамбы являются ключевыми элементами инженерной защиты территорий от наводнений. Их протяженность часто исчисляется десятками и сотнями километров, а состояние подвержено постоянному изменению под воздействием фильтрационных процессов, суффозии, механических повреждений и неблагоприятных погодных условий [1-5].

Объектом настоящего исследования являются грунтовые противопаводковые дамбы I–III классов опасности, эксплуатируемые в природно-климатических условиях Сибири и Дальнего Востока. Выбор данного типа гидротехнических сооружений обусловлен их высокой социальной значимостью, протяженным линейным характером, значительной вариабельностью инженерно-геологических условий и повышенными требованиями к своевременному выявлению дефектов, способных привести к нарушению устойчивости и потере фильтрационной надежности сооружения. В отличие от локальных гидротехнических объектов, противопаводковые дамбы функционируют как протяженные защитные системы, состояние которых определяется не только прочностью отдельных конструктивных элементов, но и неоднородностью работы всего тела дамбы и ее основания на значительном протяжении. Такое свойство объекта предопределяет необходимость его рассмотрения как сложной инженерной геотехнической системы, для которой характерны пространственная неоднородность процессов, стадийность накопления повреждений и зависимость наблюдаемых проявлений от этапа жизненного цикла.

В целях наглядного представления факторов, определяющих изменение технического состояния грунтовой противопаводковой дамбы, а также систематизации основных видов деформаций и повреждений, в работе использованы схемы, отражающие причинно-следственные связи между воздействиями внешней среды, внутренними процессами в теле сооружения и их наблюдаемыми проявлениями. Этот подход позволяет рассматривать результаты мониторинга не как набор разрозненных дефектов, а как систему взаимосвязанных признаков, характер и информативность которых изменяются в зависимости от этапа жизненного цикла гидротехнического сооружения. На рисунке 1 представлена схема воздействия природных, техногенных и антропогенных факторов на техническое состояние и уровень безопасности грунтовой противопаводковой дамбы. Данная схема иллюстрирует, что развитие неблагоприятных процессов в сооружении обусловлено не действием какого-либо одного фактора, а их совокупным и нередко взаимосвязанным влиянием на тело дамбы и ее основание.

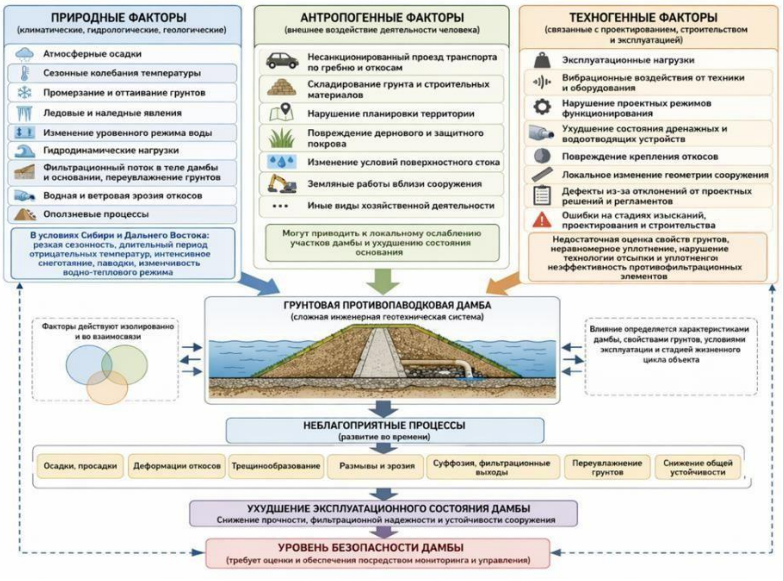


Рис.1 Комплекс воздействий природных, антропогенных и техногенных факторов на состояние и уровень безопасности грунтовой противопаводковой дамбы

Совместное действие указанных факторов обусловливает развитие в теле грунтовой противопаводковой дамбы и ее основании комплекса неблагоприятных процессов, к числу которых относятся осадки, просадки, локальные и протяженные деформации откосов, трещинообразование, размывы, суффозия, переувлажнение, активизации фильтрационных процессов, нарушение проектной геометрии профиля и снижение общей устойчивости сооружения и изменению напряженно-деформированного состояния дамбы. Характер и интенсивность проявления данных процессов определяются не только величиной внешних воздействий, но и конструктивными особенностями дамбы, свойствами грунтов, условиями эксплуатации и стадией жизненного цикла объекта.

Таблица 1

Система мониторинга противопаводковых дамб с применением беспилотных авиационных систем [6, 7]

Этап мониторинга	Основные действия	Получаемые данные	Практический результат
1. Подготовительный	Анализ документации, прогноза, выбор маршрутов	Схема дамбы, зоны риска, полетное задание	Приоритизация обследуемых участков
2. Полевой	Оптическая, тепловизионная съемка, (LiDAR), GNSS-привязка	Снимки, термограммы, облако точек	Фиксация фактического состояния
3. Камеральный	Фотограмметрия, построение ортофотоплана и ЦММ	Ортофотоплан, 3D-модель, разностные поверхности	Количественная оценка изменений
4. Аналитический	Выявление дефектов, классификация опасности	Карта дефектов, перечень критических зон	Основание для инженерных решений
5. Управленческий	Заключение, план ремонта, контроль исполнения	Отчет, рекомендации, цифровой архив	Переход к проактивной эксплуатации

Внедрение БАС в мониторинг грунтовых противопаводковых дамб позволяет сформировать цифровой архив состояния сооружений. Наличие последовательных ортофотопланов и цифровых моделей дает возможность отслеживать развитие дефектов во времени, обосновывать приоритетность ремонтных работ и контролировать качество выполненных мероприятий. Для эксплуатирующих организаций такие данные могут использоваться при ведении паспортов гидротехнических сооружений, подготовке планов противопаводковых мероприятий и обосновании финансирования ремонта.

Выводы

1. Беспилотные авиационные системы целесообразно рассматривать не как вспомогательный инструмент фотофиксации, а как элемент регулярного инженерного мониторинга грунтовых противопаводковых дамб.

2. Наиболее результативной является комплексная схема, объединяющая оптическую съемку, тепловизионный контроль, лазерное сканирование (LiDAR) или фотограмметрию, а также высокоточную геодезическую привязку.

3. Риск-ориентированная организация полетов позволяет увеличить частоту наблюдений на наиболее опасных участках без неоправданного роста трудозатрат.

4. Сопоставление цифровых моделей, полученных в разные периоды, обеспечивает выявление деформаций, которые трудно надежно зафиксировать только при визуальном осмотре.

5. Результаты БАС-мониторинга должны использоваться в единой системе эксплуатации дамб: от предпаводковой подготовки до постпаводкового обследования и планирования ремонтных мероприятий.



Рис. 2 Концептуальная схема интегрированной системы мониторинга

Дополнительным преимуществом является повышение безопасности обследований. В период паводка часть участков может быть недоступна для наземных групп или представлять опасность для персонала. БАС позволяют получить информацию без выхода специалистов на потенциально неустойчивые откосы и подтопленные территории.

Библиографический список

1. Малик, Л. К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством (ретроспективный обзор) / Л. К. Малик // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 12. – С. 2–16.

2. О предварительном прогнозе развития весеннего половодья 2025 года : информационное письмо / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Москва, 2025. – 6 с. – URL: https://rostransnadzor.gov.ru/storage/documents/МТУ%20по%20ЮФО/Информирование/13.03.2025_5.3-13-750_Инф.письмо-паводкиВлад.путей%20необщего%20пользования.pdf (дата обращения: 10.03.2026). – Текст : электронный.

3. Курганович, К. А. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния бесхозяйных противопаводковых гидротехнических сооружений Забайкальского края / К. А. Курганович, А. В. Шаликовский, М. А. Босов, Д. В. Кочев // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 32–43. – DOI 10.34753/HS.2020.2.1.32.

4. Кадысева, А. А. Аспекты применения БПЛА в системе жизненного цикла гидротехнических сооружений / А. А. Кадысева, Д. А. Беда, В. В. Миронов [и др.] // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2025. – Т. 11, № 3. – С. 57–72.

5. She, B. Applications of UAV-based thermal imaging in leak detection of embankment dams / B. She, Y. Huang // Journal of Civil Structural Health Monitoring. – 2022. – Vol. 12. – P. 893–907.

6. Сводка МЧС России по паводковой обстановке на 20 марта 2025 года / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – Москва, 2025. – URL: https://26.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/5479901 (дата обращения: 10.03.2026). – Текст : электронный.

7. Семенова, К. С. Обоснование алгоритма мониторинга эрозии водоохранной зоны с использованием спутниковых снимков и подбор противоэрозионных берегоукрепительных мероприятий / К. С. Семенова, Н. В. Ханов, А. А. Кадысева // Мелиорация и гидротехника. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 338–352.

УДК:631.672.2

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОТИВОРЕЧИЙ МЕЖДУ ИРРИГАЦИЕЙ, РЫБОЛОВСТВОМ И ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ОЗЕРА ЧАД

Блама Бурку, *студент 1 курс аспирантуры института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, blama93@mail.ru, AuthorID: 532745*

Глазунова Ирина Викторовна, *канд. техн. наук, доцент, ivglazunova@mail.ru, SPIN-код: 7508-2272, AuthorID: 127917, https://orcid.org/0000-0003-4931-2008; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия*

Аннотация: *Озеро Чад сократилось на 90% с 1963 года, что привело к конфликтам между сельскохозяйственной ирригацией (+60% площадей), рыболовством (-53% производства) и водоснабжением для 40 миллионов жителей. Исследование выявляет потерю доходов на 50–60% для рыбаков и 37,9% споров между фермерами и рыбаками. Необходимо срочное трансграничное управление через Комиссию по бассейну озера Чад (КБОЧ) CBLT (Commission du Bassin du Lac Tchad) для обеспечения комплексного управления водными ресурсами.*

Ключевые слова: *озеро Чад, ирригация, рыболовство, социально-экономические конфликты, КБОЧ (Комиссия по бассейну озера Чад).*

Введение

Озеро Чад, расположенное в самом сердце Сахеля, представляет собой экосистему, разделяемую Чадом, Нигерией, Нигером и Камеруном, обеспечивающую орошаемое земледелие, рыболовство (70% национального производства Чада) и водоснабжение для 30 миллионов жителей. Его площадь сократилась с 25 000 км² в 1963 году до примерно 2 500 км² сегодня из-за засухи, изменения климата и чрезмерной эксплуатации. Эти ограничения порождают социально-экономические противоречия: фермеры прокладывают оросительные каналы, которые сокращают рыболовные зоны, в то время как растущий спрос на питьевую воду ограничивает доступные ресурсы, способствуя конфликтам и региональной нестабильности, в том числе росту вооружённых группировок. Данный анализ рассматривает эти динамики с целью предложить устойчивые решения [1-3].

Материал и метод

Исследование основано на обзоре документов Комиссии по бассейну озера Чад (КБОЧ), Всемирного банка и НПО, дополненном вторичными данными за 2011–2025 годы о рыбном промысле, ирригации и водопотреблении. Были проанализированы смоделированные качественные опросы 223 прибрежных домохозяйств (рыбаки, фермеры, скотоводы) в трёх департаментах Чада, стратифицированные по уязвимости к наводнениям и небезопасности. Количественные данные включают временные ряды показателей (рыболовство: т/км²; ирригация: га/год), обработанные с помощью описательного анализа и корреляции (программное обеспечение R). В таблице 1 обобщены отраслевые последствия. Смешанный подход использован для оценки социально-экономических противоречий.

Таблица 1: Отраслевые последствия для озера Чад (2015–2025)

Сектор	Производство 2015 (ед. изм.)	Производство 2025 (ед. изм.)	Потери (%)	Основной конфликт

Рыболовство	150 000 т/год	70 000 т/год	53%	Сокращение зон из-за ирригации
Орошаемое земледелие	50 000 га	80 000 га	+60 %	Конкуренция за воду с рыболовством
Водоснабжение	30 млн чел.	40 млн чел.	+33 %	Чрезмерная эксплуатация ресурсов
Животноводство / Пастбища	50% регионального ВВП	35% ВВП	30%	Деградация почв

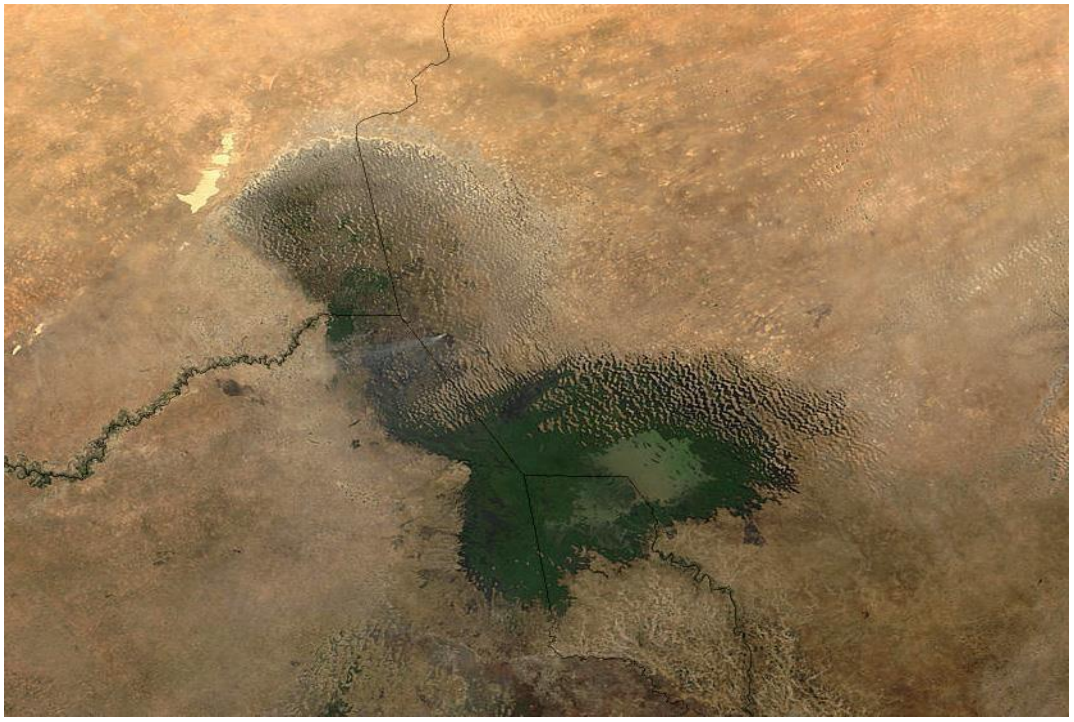


Рис. 1 Озеро Чад в период между 1963 и 2025 г.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dust_storm_near_Lake_Chad.jpg

Эта иллюстрация показывает сокращение озера Чад в период с 1963 по 2025 год, демонстрируя потерю голубых зон, жизненно важных для рыболовства и ирригации [3,4].

Результаты

Результаты показывают падение объёмов рыбного промысла на 53% (со 150 000 до 70 000 тонн в год), что коррелирует с расширением ирригации (+60% орошаемых площадей), сокращающим нерестилища на 40%. Водоснабжение питьевой водой увеличилось на 33%, при этом 70% домохозяйств сообщают о сезонной нехватке воды, что обостряет конфликты (фермеры против рыбаков: 37,9% споров). Доходы рыбаков снизились на 50–60%, в то время как орошаемое земледелие выигрывает 20%, но зависит от оспариваемых каналов; животноводство теряет 30% пастбищ [Таблица 1]. Повторяющиеся наводнения затрагивают 24% видов деятельности [4, 5].

Обсуждение

Противоречия выявляют порочный круг: орошение, жизненно необходимое в условиях засух, посягает на рыболовство — основной источник белка и коммерческой деятельности (экспорт в Нигерию), в то время как демографический рост (40 миллионов человек) усиливает

давление на водоснабжение. Вопреки распространённому мнению, озеро сокращается не только из-за климата, но и из-за чрезмерной эксплуатации человеком (вредные оросительные каналы). Местные стратегии устойчивости (диверсификация культур, кормовые резервы) ограничены без координации со стороны КБОЧ, а небезопасность (Boko Haram облагает налогом рыболовство и скот) усиливает уязвимости. Комплексное управление с устойчивым орошением и рыболовными квотами необходимо для сбалансирования видов использования [4, 6, 7].

Заключение. Социально-экономические противоречия вокруг озера Чад требуют многосекторальной региональной стратегии: регулирование ирригации, рыболовные квоты и инфраструктура питьевого водоснабжения через КБОЧ. Инвестиции в устойчивое сельское хозяйство (засухоустойчивые семена, эффективное орошение) позволят уменьшить конфликты и обеспечить поддержку 40 миллионов жителей. Без безотлагательных действий экологический коллапс угрожает стабильности Сахеля.

Библиографический список

1. Kaoulé Karema Ary et al, 2025. Article de journal scientifique (Actes IAVH2, AgriMaroc).
2. IRD (Institut de Recherche pour le Développement) pour FFEM/CBLT, 2011-2014. Rapport institutionnel/livre (OpenEdition Books).
3. Hector Morales Munoz, Janani Vivekananda, Benjamin Pohl,2025. Revue de presse/article scientifique (Mongabay, basé sur PLOS Climate).
4. FAO (José Graziano da Silva, Directeur général), 2017. Rapport institutionnel/revue de presse (ReliefWeb).
5. The Conversation, Conflit Lac Tchad, 2025. Revue de presse (The Conversation).
6. Banque Mondiale (équipe régionale Afrique), 2021. Rapport institutionnel (Mémorandum économique).
7. Hector Morales Munoz, Janani Vivekananda, Benjamin Pohl,2025. Revue de presse/article scientifique (Mongabay, basé sur PLOS Climate).

УДК 502/504: 621.644: 532.54

К РАСЧЁТУ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОДОБОЙНЫХ УСТРОЙСТВ ЗА МЕЛИОРАТИВНЫМИ ТРУБЧАТЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Бурлаченко Ярослав Юрьевич, *соискатель кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, yaroslav.burlachenko@sneak-mail.ru*

Ли Цичэнь*, аспирант института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 907776760@qq.com*

Черных Ольга Николаевна*, к.т.н., доцент кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, chernih@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Приводятся результаты квазистатического расчёта комбинированного водобойного устройства за трубчатым водопропускным мелиоративным сооружением и рекомендации по оптимизации конструкции водобоя.*

Ключевые слова: *нагрузки, пульсация давления на водобое, комбинированный гаситель.*

Огромный размах проводимого в Китае и планируемого в ближайшее время в России гидромелиоративного строительства требует тщательно продуманных и координируемых усилий научных работников, проектировщиков и строителей в наших странах. Выполнение задач нацпроектов «Экологическое благополучие», «Развитие сельского хозяйства», «Инфраструктура для жизни» и других, предусматривают создание условий для комфортной среды проживания и обеспечения всем необходимым российских жителей, их пищевой

безопасности. На оросительных системах ещё с 80-х годов прошлого века осталось много трубчатых регуляторов и сопрягающих сооружений с расходами до 10 м^3/с, а на осушительных - до 35 м^3/с с напорами не более 3 м. Многие из этих массовых гидротехнических сооружений (ГТС) ждут капитального ремонта и не могут в полной мере обеспечить надёжность работы водопроводящих сооружений, хотя ранее они составляли 90...95% сооружений мелиоративной системы (МС) [1-3]. Помимо этого, существует, реконструируется или работает после ревитализации водных объектов так же большое количество гидроузлов с трубчатыми водосбросами на водохранилищах и прудах разного целевого назначения [4], особенно в нечернозёмной зоне России (где они составляют около 76% от общего количества сооружений на МС), на Кавказе и в Крыму, в том числе и в ландшафтных парковых зонах Москвы и зарыблённых водоёмах Московской области [5]. При этом стоимость затрат на строительство и эксплуатацию элементов крепления нижних бьефов таких ГТС может доходить до 30...50% стоимости всего ГТС. Поэтому до сих пор так актуально развитие и исследование миксированных конструкций креплений и гасящих устройств за сопрягающей частью трубчатых закрытых ГТС, располагающихся в их выходных оголовках.

В таких условиях могут быть очень перспективными гасители энергии камерного типа (рис. 1) [6]. Проектирование и расчёты в аванпроектах трубчатых водосбросов на МС выходных оголовков с такими комбинированными конструкциями гасящих элементов (например, как одно или много секционные циркуляционные камеры; успокоительные бассейны с разноуровневым расположением элементов волногашения; глубокие, но относительно короткие водобойные колодцы с растекателями и вертикальными элементами гашений энергии потока и т.п.; концевые устройства с наклонным, параболическим или вертикальным переходным участком за малоочковыми водопропускными сооружениями) начинаются с задания рекомендуемой по грунтовым условиям отводящего канала величины коэффициента расхода [7].

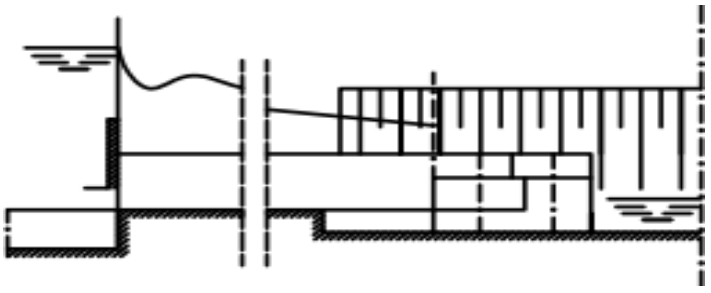


Рис. 1 Схема трубчатого ГТС с камерным гасителем: 1 – щитовой затвор; 2 – водопропускная труба; 3 – пьезометрическая линия; 3 – циркуляционная камера; 4 – опорная конструкция; 5 – отводящий канал

Рассматривая два основных режима работы таких конструкций: напорный и безнапорный ранее было установлено [7], что при напорном режиме оценка пропускной способности из-за независимости работы ярусов гасителя коэффициент расхода μ_i не испытывает ощутимого изменения в величине, и для схемы на рисунке 1 может быть принят примерно равным на одну трубу μ = 0,3.

$$Q = \mu_i \omega_i \cdot (2g)^{0,5} (H_в^{0,5} + H_н^{0,5}) \quad , \qquad (1)$$

где ω_i, H_i – площадь сливного отверстия и напор над каждой секцией камеры ($H_в$ - верхнего и $H_н$ - нижнего ярусов). На основании верификации исследований В.И. Алтунина и Н.Г. Зубковой [2] подобных конструкций можно констатировать, что в случае, когда секции, например, четырёх секционного 2-х ярусного камеры-гасителя не подтоплены (обычно это наблюдается при $H_{н.б.} < (c + b)$, то ГТС работают с воздушным шнуром и изменение уровня воды в нижнем бьефе не оказывает заметного влияния на напор Н перед трубой. Если же $H_{н.б.}$

> (c + b) работают под напором как секции верхнего, так и нижнего ярусов, то труба ГТС работает как подтопленная. В этом случае в формулу (1) следует подставлять соответственно напоры $H_в$ и $H_н$, уменьшенные на величину затопления, т.е. на [$H_{н.б.}$ – (c+b)]. При известном напоре $H_н$ расчётный напор перед сооружением можно определить по формуле:

$$H = H_н + Q/[\mu_i \omega_i \cdot (2g)^{0,5}]^2 \quad , \qquad (2)$$

где μ_i+ μ_i – коэффициент расхода трубы, определяемый потерями на вход и по длине; $\omega_i = \omega_т$ – площадь поперечного сечения трубы.

Следует отметить, что регулирование пропускной способности такого трубчатого ГТС можно проводить не только посредством щита на входе, но и изменением пропускной способности циркуляционной камеры. Для этого можно, например, установить дополнительные противовихревые стенки на верхних крышках секций камеры. Экспериментально доказано, что при высоте их $h_{в.ст.}$= 0,2$h_к$ ($h_к$ – высота секции камеры) возможно увеличение коэффициента расхода μ на 30%. Следует подчеркнуть, что при этом происходит увеличение расхода, а при маневрировании щитом на входе пропускная способность ГТС уменьшается [7].

Пульсация давления, зафиксированная точечными датчиками индуктивного типа производства «СКБ Мосгидросталь» позволила оценить динамическое воздействие потока на различных участках камерного гасителя. При этом стандарт пульсации давления $ó$ принимался при обработке сигнала за время его реализации не менее 20 с., как $ó$ = 1/6 A, где A – размах пульсации [6]. Для сопоставления на рисунке 2 приведено распределение стандарта пульсации давления в долях от скоростного напора в трубе, измеренное на модели при расчётном расходе Q = 18,3 л/с. Хорошо видно, что подтопление секции верхнего яруса (при $H_{н.б.}$ = 16,4 см) не оказывает заметного влияния на величину стандарта пульсации давления, причём при $H_{н.б.}$ = 12,7 см величина $ó$ немного выше. Максимум стандарта, т.е. динамического воздействия наблюдается у оси камер нижнего яруса, а затем плавно уменьшается вниз по течению.

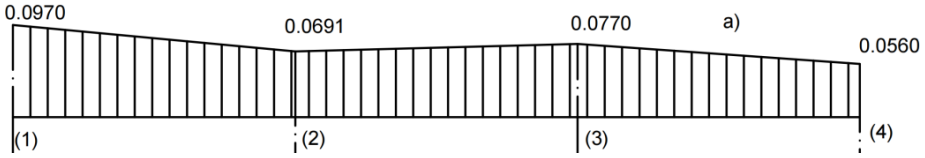


Рис. 2 Распределение стандартов пульсации давления $ó$ по длине водобоя камерного гасителя в долях от скоростного напора в трубе водосброса (в измерительных створах 1...4)

В заключении можно отметить, что разные части секции камерных гасителей испытывают воздействие динамических нагрузок с неодинаковой степенью интенсивности. Однако с достаточной для практических расчётов точностью, расчётным гидростатическим давлением при работе камеры гасителя в напорном режиме можно считать статический напор в выходном сечении водопропускной трубы. В целом расчётная схема циркуляционной камеры может слагаться из расчёта отдельных элементов с учётом их степени сборности и способа соединения. Тогда, при квазистатическом расчёте конструктивных элементов водобойного участка нетрудно будет определить, зная напор перед водосбросным сооружением и вычислив потери энергии на преодоление сопротивлений на входе и по длине трубы, давление на её концевом участке., а затем и оптимальную толщину отдельных элементов. В напорном режиме при составлении расчётной схемы в целях её упрощения для сооружений низкой ответственности пульсационное давление в секциях камеры можно не учитывать.

Библиографический список

1. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Бакланова Д.В., Баев О.А., Михайлов Е.Д. Обеспечение безопасности и надёжности низконапорных гидротехнических сооружений. Новочеркасск: РосНИИПМ. 2016. – 283 с.

2. Алтунин В.И., Зубкова Н.Г. Гидравлические исследования трубчатого водосброса с четырёхсекционной циркуляционной камерой // Экспресс-информация. Серия 1, вып.3, М.; ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1979.с. 8-15.

3. Ли Цичэнь. К оценке пульсации давления на крепление нижнего бьефа за низконапорным мелиоративным водосбросным сооружением / Ли Цичэнь, О.Н. Черных // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича. Сборник статей. Москва, 3-5 июня 2024, С. 129-132.

4. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Экспериментальные и аналитические исследования нагрузок на элементы крепления за водосбросами водных объектов АПК // Природообустройство, 2023, № 4, С. 12-20.

5. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Обеспечение надёжности крепления из плит за водопропускными сооружениями мелиоративных систем АПК // Природообустройство. 2023. № 5. С. 40-46. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-5-40-46.

6. Черных О.Н., Ли Цичэнь, Бурлаченко Я.Ю. Обоснование эффективности работы комбинированных водобойных устройств ирригационных сооружений АПК // Природообустройство. 2026. №1. С. 61-71.

7. Ли Цичэнь, Черных О.Н. Исследования эффективного гасителя на мелиоративных системах с трубчатыми сооружениями В сборнике: Мелиорация: история и современность. Материалы международной научно-практической интернет-конференции, к 80-летию победы в Великой Отечественной войне и 100-летию ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. Москва, 2025. С. 198-206.

УДК 628.21

ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ ДОЖДЕПРИЁМНЫХ РЕШЁТОК В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ

Валлик М.Я., *магистр, кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*
Научный руководитель: д.б.н., профессор ***Кадысева А.А.*** *кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций*

Аннотация*: Статья посвящена обоснованию применения умных дождеприёмных решёток (УДР) в системах ливнестока городов средней полосы России. Рассматриваются три ключевых климатических фактора: интенсификация ливневых осадков, сезонные циклы замерзания–оттаивания и весенний пик снеготаяния. Описаны технологические принципы УДР на основе IoT-сенсоров и беспроводных сетей LoRaWAN/NB-IoT, показана их эффективность в решении актуальных инфраструктурных задач.*

Ключевые слова: *умная дождеприёмная решётка, IoT, LoRaWAN, ливневая канализация, городское подтопление, климат средней полосы.*

Введение

Дождеприёмные решётки образуют первый узел сбора поверхностного стока в городских дренажных системах. Их работоспособность непосредственно определяет, будет ли осадок своевременно отведён или выйдет на поверхность, вызвав подтопление территории. Проектные параметры существующих ливневых систем в российских городах, как правило, рассчитывались на исторические усреднённые значения осадков, которые уже не отражают текущей климатической реальности. Интенсификация экстремальных осадков в сочетании со специфическим температурным режимом средней полосы создаёт нагрузку, к которой

традиционные пассивные решётки принципиально не приспособлены. Цель настоящей статьи — обосновать применение умных дождеприёмных решёток как технического ответа на климатически обусловленные риски [1, 2].

1. Климатические предпосылки

1.1. Интенсификация ливневых осадков

Изменение климата в средней полосе проявляется прежде всего в учащении высокоинтенсивных кратковременных ливней при относительном сокращении длительных моросящих осадков. Рост среднегодовой температуры увеличивает влагоёмкость атмосферы, что напрямую усиливает конвективную ливневую активность. Для Московского региона характерно, что значительная доля месячной нормы осадков выпадает в течение одних–двух суток, создавая пиковую нагрузку, кратно превышающую расчётную пропускную способность ливневой сети. Исследования по применению природоподобных решений в Москве подтверждают: быстрый поверхностный сток при продолжительных интенсивных дождях является основной причиной локальных подтоплений [3, 4]

1.2. Циклы замерзания–оттаивания и весеннее снеготаяние

Умеренно-континентальный климат средней полосы предполагает устойчивый снежный покров зимой и регулярные переходы температуры через 0 °C в межсезонье. В результате решётки дождеприёмников примерзают к корпусу колодца, в водоприёмных камерах образуются ледяные пробки, а пропускная способность конструкции падает до нуля. Исследования дренажа в холодном климате показывают, что замерзание входных конструкций является одной из главных операционных проблем зимнего периода и требует особых конструктивных и технологических мер. Весеннее таяние накопленного снега создаёт дополнительный удар: с талыми водами высвобождаются загрязнители и значительный объём песка, использованного для посыпки дорог, что ведёт к быстрому засорению фильтрующих элементов. Именно в начале весны число засоров в дренажных системах резко возрастает, а ресурсов коммунальных служб для превентивной прочистки, как правило, недостаточно [5-7]

2. Принципы работы умных дождеприёмных решёток

2.1. Сенсорный мониторинг

Умная дождеприёмная решётка совмещает механическую функцию фильтрации стока с непрерывным цифровым мониторингом, а в наиболее развитых версиях — с автоматизированным самоочищением. Базовая архитектура включает три уровня: сенсорный (датчики), коммуникационный (беспроводная передача данных) и прикладной (принятие решений, оповещение). Среди датчиков ключевую роль играют ультразвуковые измерители расстояния/уровня, отслеживающие степень засорения по изменению отражённого сигнала через прутья решётки, и датчики температуры для раннего выявления риска обледенения. Реализованная компанией Stadtwerke Gießen система на основе IoT-датчика WILSEN.sonic формирует оповещение при обнаружении засорения и передаёт его персоналу через беспроводную сеть с автономностью до десяти лет от встроенной батареи.

2.2. Коммуникационный стек и интеграция в платформу умного города

Для передачи данных из подземных и заглублённых сооружений в городской застройке наиболее подходят технологии LPWAN — LoRaWAN и NB-IoT. Они обеспечивают достаточное проникновение сигнала сквозь бетонные конструкции, дальность связи в десятки километров и минимальное энергопотребление. LoRaWAN признана ITU-T глобальным стандартом для IoT-сетей широкого охвата, что гарантирует масштабируемость: одна развёрнутая сеть позволяет поддерживать разнородные датчики городской среды в едином адресном пространстве. Результатом интеграции сотен УДР в единую платформу становится тепловая карта нагрузки на ливневую сеть в реальном времени, пригодная не только для оперативного управления, но и для актуализации нормативных расчётных параметров — что особенно актуально в свете назревшей необходимости пересмотра проектных норм ливневых систем в России.

2.3. Предиктивное управление обслуживанием

Переход от планово-предупредительного к предиктивному обслуживанию является ключевым экономическим преимуществом УДР. Вместо затратных периодических объездов диспетчер получает адресный сигнал о конкретном засорённом дождеприёмнике заблаговременно — до наступления пикового ливневого события. Исследование мобильного приложения Cleanlet (Journal of Hydroinformatics, 2025) подтвердило, что своевременные уведомления на основе данных датчиков позволяют организовать прочистку решёток перед прогнозируемым дождём и существенно снизить частоту плювиальных подтоплений.

Заключение

Климат средней полосы России формирует специфический набор рисков для городских ливневых систем: нарастание интенсивности экстремальных осадков, регулярные циклы замерзания–оттаивания и весенний пик снеготаяния. Традиционные пассивные решётки не адаптированы к этим динамичным условиям. Умные дождеприёмные решётки, оснащённые ультразвуковыми датчиками и системами беспроводной передачи данных на базе LoRaWAN или NB-IoT, устраняют ключевые точки уязвимости: засорение при пиковых ливнях, обледенение в межсезонье и занесение песком в период снеготаяния. Интеграция УДР в платформу умного города позволяет перейти к предиктивному управлению ливневой инфраструктурой — принципиальному шагу в цифровизации инженерных систем городского водоотведения.

Библиографический список

1. Adhikari, N. Cleanlet: a smart app for enhancing urban flood resilience through automated stormwater inlet management / N. Adhikari, F. Montalto // Journal of Hydroinformatics. — 2025. — 18 p. — DOI: 10.2166/hydro.2025.099. — Текст : электронный.
2. Are Moscow's Summertime Floods and Tornadoes Tied to Climate Change / The Moscow Times. — 2024. — URL: https://www.themoscowtimes.com/2024/07/02/are-moscows-summertime-floods-and-tornadoes-tied-to-climate-change-a85546 (дата обращения: 19.04.2026). — Текст : электронный.
3. Blecken, G.-T. Urban Runoff and Snowmelt : doctoral thesis / G.-T. Blecken. — Luleå : Luleå University of Technology, 2016. — Текст : электронный. — URL: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:970732/FULLTEXT01.pdf (дата обращения: 19.04.2026).
4. Cold Climate Challenges in Stormwater BMP Engineering and Design / Minnesota Pollution Control Agency. — Saint Paul, 2022. — URL: https://stormwater.pca.state.mn.us/cold_climate_challenges_in_stormwater_bmp_engineering_and_design (дата обращения: 19.04.2026). — Текст : электронный.
5. Grebennikov, K. A. The effects of implementation of nature-based solutions in stormwater management for the case of a former industrial zone in Moscow / K. A. Grebennikov [et al.] // Agronomy Journal RUDN. — 2024. — Текст : электронный. — DOI: 10.22363/2312-797X-2024-21-3.
6. Revi, A. Climate Change and Temperate Cities: The Impact of Extreme Events on Urban Infrastructure / A. Revi [et al.] // International Journal of Hydrology. — 2026. — Vol. 10. — Текст : электронный. — URL: https://medcraveonline.com/IJH/IJH-10-00421.pdf (дата обращения: 19.04.2026).
7. Smart Drain Grate Monitoring: Enhancing Efficiency with IoT and LoRaWAN / Semtech Corporation. — 2025. — URL: https://blog.semtech.com/smart-drain-grate-monitoring-enhancing-efficiency-with-iot-and-lorawan (дата обращения: 19.04.2026). — Текст : электронный

УДК 627.838:631.6

УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ВОДОСЛИВНОГО ПОРОГА НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ВОДОСБРОСОВ ТРАНШЕЙНОГО ТИПА

Ван Тэнчжэнь, *магистр кафедры гидротехнических сооружений ИМВХиС имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, wangtzzzzz@gmail.com*
Черных Ольга Николаевна*, к.т.н., доцент кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, chernih@rgau-msha.ru*

Аннотация: *в статье рассмотрено влияние геометрии водосливного порога на гидравлические условия работы водосбросов траншейного типа. Показано, что форма и плановое очертание порога определяют распределение расхода по длине водослива, направление входящих струй, условия поперечного сопряжения потока и вероятность возникновения неустойчивых режимов. На основе анализа прямолинейных, криволинейных, полигональных и веерообразных схем сделан вывод о необходимости выбора формы порога с учётом топографических условий, расчётного расхода и требований к безопасности гидротехнического сооружения.*

Ключевые слова: *траншейный водосброс, водосливной порог, геометрия порога, устойчивость потока, гидравлический режим, пропускная способность.*

Безопасность гидротехнических сооружений во многом определяется надёжностью работы паводковых водосбросов. При прохождении расчётных и поверочных расходов водосброс должен не только обеспечивать необходимую пропускную способность, но и сохранять устойчивый гидравлический режим на входном участке, в траншее, переходной части, быстротоке и концевом элементе сооружения. Нарушение устойчивости потока может приводить к неравномерному распределению расходов, образованию поперечных волн на транзитной части и повышенным динамическим нагрузкам на элементы сооружения [1]. Для водосбросов траншейного типа данная задача особенно важна, поскольку расход в них возрастает вдоль основного направления движения потока. Вода поступает в траншею через водосливной порог, расположенный вдоль одной, двух или трёх сторон водосборной траншеи. Поэтому геометрия порога непосредственно влияет на направление входящих струй, распределение глубин и скоростей, а также на условия их сопряжения внутри транзитного участка. Даже при одинаковом расчётном расходе различные формы порога могут создавать разные режимы движения воды.

Цель работы заключается в анализе влияния геометрии водосливного порога на устойчивость сбрасываемого потока. Для достижения цели рассмотрены основные формы порогов, особенности подвода воды к траншее и характерные гидравлические эффекты, возникающие при различных конструктивных решениях.

Траншейный водосброс представляет собой сооружение, входная часть которого выполнена в виде водосборной траншеи. Вода переливается через водосливной порог и далее движется вдоль траншеи к переходному участку и быстротоку. Такая схема применяется в условиях ограниченной ширины створа, при сложном рельефе, а также в случаях, когда необходимо обеспечить значительный расход без увеличения фронтальной ширины сооружения. Основными преимуществами траншейных водосбросов являются: возможность размещения в узких ущельях, увеличение общей длины водосливного фронта и сравнительно простая эксплуатация при беззатворной схеме. Вместе с тем боковое поступление воды усложняет структуру потока. В траншее могут возникать отогнанные и надвинутые прыжки, местное затопление водослива, поперечные волны и другие режимы, ухудшающие устойчивость работы всего сооружения [2].

Под геометрией водосливного порога понимаются: его плановое очертание, длина, кривизна, ориентация относительно основного направления потока, форма поперечного

профиля и сопряжение с направляющими стенками. В практике гидротехнического строительства применяются прямолинейные фронтальные, криволинейные, полигональные, лабиринтные и веерообразные водосливные пороги. Их выбор зависит от расчётного расхода, перепада уровней воды, геологических условий и компоновки сооружения.

Прямолинейный порог является наиболее простой конструктивной схемой. Он удобен для расчёта и строительства, однако в стеснённых условиях не всегда позволяет получить достаточную длину водосливного фронта. Кроме того, при боковом подходе воды возможно неравномерное распределение скоростей и образование зон повышенной турбулентности. Поэтому простота такой схемы не всегда означает наилучшие гидравлические условия работы.

Криволинейные и веерообразные пороги позволяют лучше организовать подвод воды к гребню. За счёт изменения направления водосливного фронта они способствуют более равномерному распределению поступающего расхода и уменьшают концентрацию потока на отдельных участках. В веерных водосбросах часто применяется трёхрадиусное очертание порога, обращённое выпуклостью против течения. Такое решение повышает эффективность входной части и снижает вероятность резких поперечных перепадов уровня [3].

Полигональные и лабиринтные пороги применяются для увеличения длины водосливного фронта в пределах ограниченной строительной площадки. Они обеспечивают высокую пропускную способность, однако требуют тщательного гидравлического обоснования, так как сложное плановое очертание может вызывать локальные зоны сжатия, поворота струй и неравномерного распределения энергии.

Таблица 1

Сравнение основных форм водосливного порога

Форма порога	Гидравлический эффект	Преимущества	Ограничения
Прямолинейная	простая схема перелива	простота расчёта и строительства	ограниченная длина фронта
Криволинейная	улучшение подвода воды к гребню	более равномерное распределение расходов	необходимость подбора радиусов
Полигональная	увеличение эффективной длины порога	высокая пропускная способность	локальные зоны неравномерности
Веерообразная	радиальная организация входящего потока	устойчивый подвод к гребню	сложная плановая компоновка

Сравнение показывает, что выбор формы порога не может выполняться только по критерию пропускной способности. Необходимо учитывать устойчивость движения воды после перелива через гребень. Порог должен обеспечивать такой подвод потока, при котором струи входят в траншею без резких столкновений, чрезмерного закручивания и локального затопления. Поэтому рациональная геометрия определяется не только общей длиной водослива, но и характером сопряжения входящих потоков внутри сооружения.

Геометрия порога влияет на устойчивость через несколько основных механизмов. Первый механизм связан с распределением расхода по длине водослива. Чем равномернее расход поступает в траншею, тем меньше вероятность образования локальных зон с повышенными скоростями. Второй механизм связан с направлением входящих струй. Если струи направлены под неблагоприятным углом, они могут сталкиваться с противоположной стенкой или между собой, вызывая поперечные волны и интенсивное перемешивание. Третий механизм связан с условиями подтопления. При неправильно выбранной форме и отметке порога возможно частичное или полное затопление водосливного фронта, что снижает эффективность работы сооружения.

Для веерных и криволинейных порогов важным является плавное сопряжение водосливного фронта с направляющими стенками. Специально подобранные плановые очертания позволяют приблизить направление подхода воды к нормальному, относительно гребня. В этом случае уменьшается неравномерность скоростей, а поток более стабильно поступает на переходный участок и далее - на быстроток.

Для траншейных водосбросов прямоугольного сечения значительную роль играет также соотношение между формой порога и формой самой траншеи. При параболическом, трапецеидальном или эллиптическом плановом очертании изменяются условия поступления расхода и характер изменения глубины вдоль сооружения. В связи с этим при проектировании требуется анализировать не отдельный элемент, а миксированную (совместную) работу входного порога, траншеи, переходного участка и быстротока.

Практическое значение рассматриваемого вопроса связано с реконструкцией существующих гидроузлов и проектированием новых водосбросных сооружений, которые сейчас интенсивно возводятся в Китае. В стеснённых створах рациональным может быть применение траншейных водосбросов с криволинейными или веерообразными входными частями. Такие решения позволяют увеличить эффективную длину водосливного фронта и улучшить распределение потока. Однако их использование должно сопровождаться предварительным гидравлическим расчётом и, при необходимости, модельными исследованиями, поскольку сложная геометрия может как повысить устойчивость режима, так и создать дополнительные зоны неравномерности при неправильной компоновке. При этом особое значение имеет обеспечение кавитационной устойчивости и предотвращение чрезмерных пульсаций давления на участках с высокими скоростями. Если входной поток формируется неравномерно, то в дальнейшем эта неравномерность сохраняется или усиливается в переходной части и быстротоке. Следовательно, устойчивость всего водосбросного тракта во многом закладывается уже на этапе выбора формы водосливного порога.

До сих пор, несмотря на ряд известных экспериментальных работ, посвящённых траншейно подобным водосбросам (Веласко Дейвис, Пхи Лида, Вахидузамман, О.В. Ивлев, А.Т. Кавешников и др.), большинство из них проектируются эмпирическим путём, без аналитического предварительного расчёта. Гидравлический анализ ряда основных работ по гидравлическому прыжку, начиная с XVIII в. (И.В. Мещерский, М. Стейн, В.М. Маккавеев и др.), динамических уравнений течений с переменным расходом (Т. Камп, В.Б. Дульнев, В.С. Шайтан, И.М. Коновалов, П.Г. Киселёв, В.Т. Чоу, А.И. Петрашев и др.), поведения и свойств открытых течений переменного расхода (Г.А. Петров, В.Ф. Озёрин, В. Фразер и др. авторы), решений для частных случаев дифференциальных уравнений и его интегрирования (Ли, Чоу, Х.А. Навоян, и пр.) и опубликованных алгоритмов по методу Хандса (Куба) подтверждены лабораторными и натурными исследованиями последователями и позволили составить существующие рекомендации для улучшения характера течения в траншейных (Н.П. Розанов) и «мексиканских» водосбросов (О.М. Айвазян) [1-4]. Эти методики гидравлического расчёта и рациональное проектирование сейчас интенсивно используются как базовые.

Среди особенностей работы траншейных водосбросов следует вычленить нахождение границ зон различных видов поперечного сечения (от 1 до 4) (рис. 1). Выполненный нами анализ показывает, что их сложную структуру можно корректно заменить (примерно 2...3% отклонения) зависимостями известных авторов.

При этом последние члены можно оценивать по данным Д. Кумина или Н.Н. Беляшевского [1,2]. Граница 2 хорошо оценивается по известным данным Н.П. Розанова, В. Кригера, А.С. Офицерова в соответствии с типом конкретного водослива и учётом его степени вакуума [1,3]. При больших глубинах в траншее ($h/p_н > 1$) сопряжение происходит в нерасчётном поверхностном режиме. Граница 4 наблюдается при коэффициенте подтопления близкому к 0. Учёт условий сопряжения потока, поступающего поперечно и продольно в траншею на входном участке, позволяет более обоснованно выбирать размеры траншеи, оптимизировать очертание её ключевых элементов и производить анализ её работы в

нерасчётных режимах для оценки риска появления аварийных ситуаций и разработки рекомендаций по обеспечению безопасности гидроузла в целом.

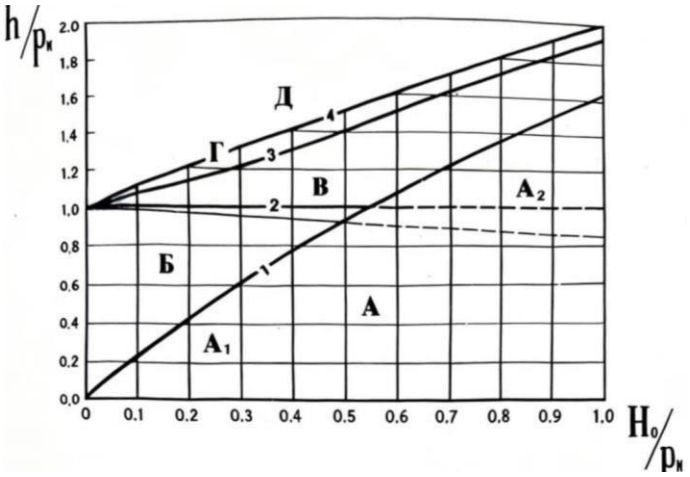


Рис. 1 Границы зонирования режимов сопряжения потока во входном участке траншейного водосброса:

А- отогнанный прыжок; $А_1$- отогнанный волнистый прыжок; $А_2$- отогнанный прыжок большой высоты; Б - надвинутый прыжок; В - затопление водослива; Г- поверхностные режимы; Д - абсолютное затопление

Например, границу 1 можно аппроксимировать выражением:

$$h/p_н = 2\ (m/\varphi_{сж})^{1/2}\ (H_0/p_н\ )3/4\ (1+H_0/p_н\ )^{1/4}, \qquad (1)$$

где h - глубина; H_0 – полный напор; $p_н$ – высота водослива; m – коэффициент расхода; $\varphi_{сж}$ – коэффициент скорости.

Таким образом, результаты аналитического исследований позволили конкретизировать и установить, что геометрия водосливного порога ключевым оказывает существенное влияние на гидравлические условия работы водосбросов траншейного типа. Форма порога определяет распределение расхода, направление входящих струй, условия поперечного сопряжения потока и вероятность возникновения неустойчивых режимов. Прямолинейные пороги отличаются простотой конструкции, но в ряде случаев не обеспечивают достаточной равномерности подвода воды. Криволинейные, полигональные и веерообразные пороги позволяют увеличить длину водосливного фронта и улучшить организацию потока, однако требуют более тщательного гидравлического обоснования. Наиболее рациональная форма порога должна выбираться с учётом конкретных топографических, геологических и гидравлических условий строительства, а для сооружений высокого уровня ответственности вкупе с численным экспериментом обязательным является выполнение лабораторного проектирования на модельной установке [5], оснащённой современной измерительной аппаратурой, позволяющей понять взаимосвязь физического и математического моделирования для оптимизации наиболее приемлемого технического решения.

Библиографический список

1. Киселёв П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В. и др. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.

2. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Свод правил. СП 290. 1325800, п. 4.11. 2016. URL: https://docs.cntd.ru/document/456074911

3. Волков В.И., Черных О.Н., Румянцев И.С., Алтунин В.И. и др. Открытые береговые водосбросы. М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. 243 с. elib.timacad.ru
4. Willi H. Hager, Anton J. Schleiss, Robert M. Boes, Michael Pfister. Hydraulic Engineering of Dams. 2021. Taylor & Francis Group, London, UK. P. 1054. DOI: 10.1201/9780203771433
5. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Экспериментальные и имитационные методы исследования режимов сопряжения потока в нижнем бьефе природоохранных водосбросных и сопрягающих сооружений АПК // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2021. № 21. С. 72-80. EDN: OTHNQA

УДК 631.6:621.67

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СТАНЦИЙ

***Винокурова Ирина Николаевна**, аспирант кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ– МСХА им. К.А. Тимирязева, преподаватель ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», vin29@internet.ru*
*Научный руководитель - **Ханов Нартмир Владимирович**, д.т.н., профессор кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, khanov@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** в статье проводится анализ выбора насосного оборудования для мелиоративной станции, с учетом параметров, позволяющих оптимизировать эксплуатацию, обеспечить надёжность насосной станции с учетом экономической целесообразности.*
***Ключевые слова:** насосная станция, коэффициент быстроходности, вакуумметрическая высота всасывания, кавитационный запас.*

Для обоснования эксплуатации оборудования насосной станции в оптимальном режиме проводится комплексный анализ исходных данных, включающих гидравлические и энергетические параметры гидромеханического оборудования. При этом учитываются особенности назначения насосной станции, местоположение, уровень воды в водоисточнике, расходно-напорные характеристики и т.д. На основании проведенного анализа принимается решение о выборе и корректировке ввода элементов оборудования в оптимальный режим с максимальным значением КПД, проводится экономический расчёт и обоснование выбора состава сооружений.

Выбор насосного оборудования с учетом его параметров, освященный в статье, позволяет на стадии проектирования мелиоративной станции, учитывая условия эксплуатации, оптимизировать и обеспечить надёжность ее использования с учетом экономической целесообразности.

Для функционирования мелиоративных насосных станций применяются осевые и центробежные насосы. Выбор конструкции насоса для мелиоративной станции требует комплексного подхода с учетом параметров, что позволяет обеспечить надёжную и энергоэффективную работу насосной станции при минимизации риска кавитационного разрушения оборудования [1].

Анализ мировой практики показывает, что на один и тот же уровень напора выбирают различные конструкции насосов. В качестве основного параметра, определяющего конструкцию применяемого насоса, выделяется коэффициент быстроходности. Он определяет:

- соотношение выходного и входного диаметров;

- габаритные размеры и массу насоса и приводного двигателя;
- план расположения оборудования на станции.

Уменьшается отношение диаметра выходного отверстия к входному с увеличением n_s, что в свою очередь влияет на характеристики насоса и двигателя, снижают их габаритные размеры и массу, а также размеры станции. Однако при этом ухудшаются кавитационные и динамические показатели насосов, повышается кавитационный запас, вибрация, происходит колебание давления. В связи с этим возникает необходимость более глубокого заложения насосной станции, снижается ее общая надёжность. При меньших значениях коэффициента быстроходности лучшие показатели у диагональных насосов, это оптимальное сочетание КПД и кавитационной устойчивости, а при больших - КПД осевых насосов существенно снижается.

Для работы центробежного насоса без сбоев важно, чтобы фактическая вакуумметрическая высота всасывания не превышала допустимого значения, т.е.

$$H_{\text{вак}} \leq [H_{\text{вак}}],$$

где $H_{\text{вак}}$ — фактическая вакуумметрическая высота всасывания, м; $[H_{\text{вак}}]$ — допустимая вакуумметрическая высота всасывания для данного насоса, м.

Обычно это достигается правильным расположением насоса относительно уровня забора воды и подбором размеров всасывающей линии, при которых сумма потерь напора в линии и геометрической высоты всасывания не превышает допустимый уровень для данного насоса. Следовательно, чем больше допустимая вакуумметрическая высота всасывания, тем меньше нужно заглублять насосную станцию, что позволяет, обычно это составляет 20–30%, сэкономить на ее стоимости [2].

Одним из способов увеличить допустимую высоту всасывания является ввод во всасывающую линию струи воды из напорной линии. Это повышает давление в линии, так как энергия струи передается потоку воды. Такой эффект достигается установкой струйных насосов на всасывающей линии. Иными технологическими методами повышения допустимой высоты всасывания являются - рециркуляция части потока из напорной линии во всасывающую, поддержание температуры перекачиваемой воды. При использовании линии рециркуляции снижается вероятность непредвиденной остановки насосной станции в случае аварийной ситуации и полного прекращения подачи, что обосновывается наличием дополнительных эксплуатационных затрат на потери энергии, установленного во всасывающем трубопроводе оборудования, и возможностью эффективного использования остаточной энергии в напорных трубопроводах [2].

Кроме того, с той же целью применяются конструктивные решения, такие как подбор насосного оборудования, при котором требуемый кавитационный запас оказывается минимальным для заданных условий эксплуатации, использование материалов с повышенной кавитационной стойкостью, оптимизация геометрии проточной части и т.д.

Выбор конструкции насосов осуществляется с учетом указанных факторов. Насосные станции, оборудованные осевыми насосами как правило используются в качестве головных, эксплуатируются с постоянным напором, не превышающим 20-25м для подачи воды в каналы и циркуляционные линии. Различные конструкции осевых и диагональных насосов показаны на рисунке 1[3].

Расстановка насосов влияет на необходимое заглубление насосной станции, её размеры и строительный объем. Вертикальные схемы компоновки характеризуются большей высотой и меньшей длиной блока по сравнению с наклонными. Глубина заложения фундамента станции при разных вариантах установки насосов зависит от условий. При вертикальной и горизонтальной компоновке насосов (см. рисунок 1), особенно если высота нижней части насоса велика, заглубление фундамента определяется требованиями по предотвращению кавитации и условиями запуска насоса. Поэтому при вертикальных схемах рекомендуется уменьшать высоту нижней части насоса [3,4].

Осевые насосы, изготавливаемые европейскими заводами, рассчитаны на напоры от 12 до 15 м, японская фирма выпускает вертикальные и наклонные осевые насосы на напоры от 3 до 8 м и горизонтальные на напоры от 1 до 5 м. В России насосное оборудование рассчитано на диапазон напоров 24 м.

На основе анализа литературных источников выявлено, что использование струйных насосов применяют для повышения высоты всасывания центробежных насосов с трубопроводами на всасывающей линии.

Для расчета струйных аппаратов наиболее подходящей является методика, разработанная Б.Э. Фридманом и П.Н. Каменевым, которая основывается на законах сохранения массы, импульса сил и энергии. При определении оптимальных гидравлических параметров и размеров струйных аппаратов необходимо включать в теоретические формулы эмпирические коэффициенты гидравлического сопротивления входа, сопла, смесителя и диффузора. В противном случае разрыв между теоретическими расчетами и экспериментальными данными может достигать 50%.

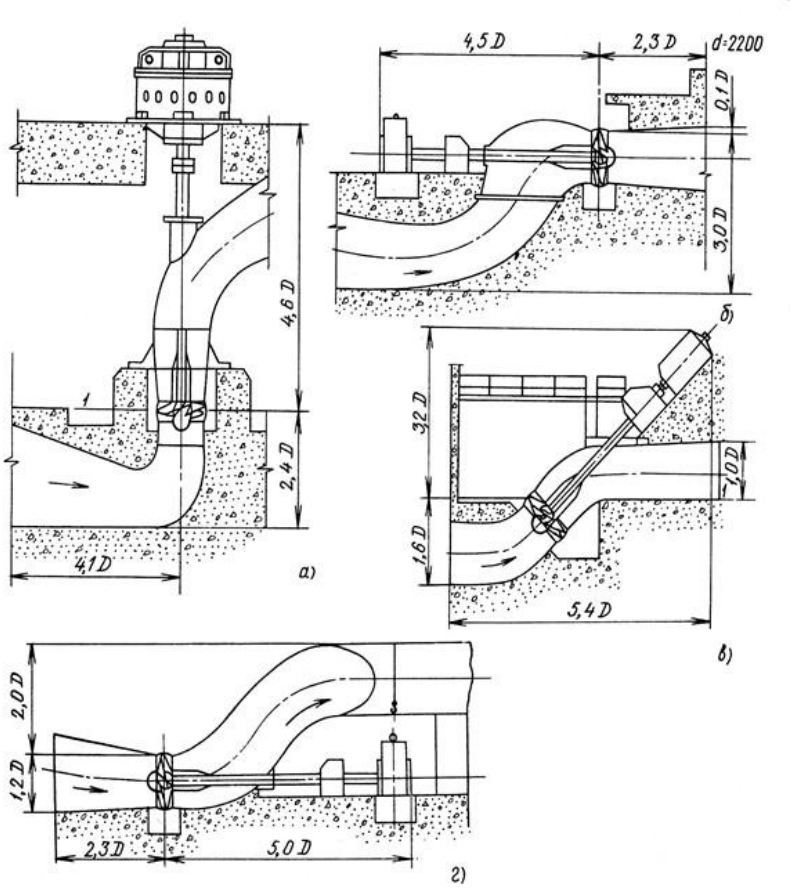


Рис. 1 Конструкции осевых и диагональных насосов
а - с коленчатым подводом и отводом; б - горизонтальный с двигателем над всасывающей трубой; в - наклонный; г - горизонтальный с двигателем под отводом

Среди всех известных конструкций струйных аппаратов, таких как кольцевой одноповерхностный — В.А. Бородзича, кольцевой двухповерхностный — Г.Е. Мускевича, конструкции С.А. Тарасьянца, насосы с центральным подводом. Наиболее эффективными по энергетическим характеристикам являются аппараты Г.Е. Мускевича и С.А. Тарасьянца. При оптимальных геометрических размерах их КПД достигает 45–50% [3,4].

Таким образом, выбор конструкции насосного оборудования для мелиоративной станции требует комплексного подхода, учитывающего такие параметры как коэффициент быстроходности, допустимую вакуумметрическую высоту всасывания, кавитационные характеристики, а также эксплуатационные условия (уровень водоисточника, температура

воды, гидравлические потери), экономическую целесообразность (стоимость заглубления, энергопотребление, срок службы), экологические требования (минимизация утечек, снижение энергопотребления).

Использование насосной станции с учетом и оптимизацией этих параметров позволяет обеспечить ее надёжную и энергоэффективную работу при минимизации риска кавитационного разрушения оборудования, а также с наибольшей экономической выгодой.

Библиографический список

1. Кожанов А. Л., Воеводин О. В. О классификации мелиоративных насосных станций // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 261-283. https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-261-283.
2. Винокурова И. Н., Трушев В. В., Мазанов Р. Р., Тарасьянц С. А. Эксплуатационный технологический процесс гидромеханического оборудования с использованием линии рециркуляции и остаточного напора в напорных трубопроводах насосных станций. Известия НВ АУК. 2024. 5(77). 419-428. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-05-47
3. Николаенко Д. В., Уржумова Ю. С., Панов В. Б., Тарасьянц С. А., Ширяев В. Н. Технологический процесс эффективности эксплуатации насосного оборудования с использованием струйного аппарата на всасывающем трубопроводе. Известия НВ АУК. 2022. 3(67). 612-621. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-69
4. Панов В. Б, Цыпленков Д. С., Ширяев В. Н., Тарасьянц С. А. Порядок проведения анализа и мероприятия по введению центробежного насосного оборудования в оптимальный эксплуатационный режим. Известия НВ АУК. 2022. 4(68). 587-596. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-68.

УДК626.17/691.17/502/504

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗА РАДОНА В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Иванников Марк Константинович, *магистр кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

*Научный руководитель - **Али Мунзер Сулейман**, заведующий кафедрой сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, munzer@yandex.ru*

Аннотация: *подземный скважинный водозабор осуществляемый на территориях, с высоким содержанием радона в подземных водах приводит к накоплению в жилых помещениях данного радиоактивного газа, что несет угрозу здоровью населения. Данная угроза зачастую игнорируется как населением, так и муниципальными службами. Статья посвящена исследованию опасности радона для человека и способам попадания газа в жилые дома, а также анализу существующих решений данной проблемы. В конце статьи приводится предложение создать аппаратно-программный комплекс для решения данной проблемы и принцип его работы.*

Ключевые слова: *водоснабжение, радон, радиация, аппаратно*-программный комплекс, водонапорная башня, фильтрация.

Радон - это радиоактивный газ без запаха, цвета и вкуса, легкорастворимый в воде. Несмотря на свою незаметность радон – один из главных источников естественной радиации,

получаемый человеком из окружающей среды. До половины всего облучения исходит именно от радона и продуктов его распада.

Как и любая форма радиации радон опасен не мгновенным контактом, но своим накоплением в организме и окружающей среде. Постоянный контакт организма человека с радиоактивным газом повышает вероятность образования мутаций клеток организма, что является основной причиной возникновения большинства онкологических заболеваний – таких как рак [1-3].

В жилые дома радон попадает как правило в процессе диффузии со строительными материалами фундамента и окружающей почвы, подобная проблема широко изучена, и существуют эффективные способы борьбы с данной проблемой. Ситуация меняется если вода, содержащая радон попадает в систему водоснабжения, например извлеченная из скважины. Попав в систему водоснабжения рано или поздно радон попадает в жилые помещения.

Решение данной проблемы – важная задача при проектировании системы водоснабжения, т.к. согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 при содержание радона в подаваемой населению воде выше 60 Бк/кг необходимо проведение защитных мероприятий по снижению содержания радионуклидов. Роспотребнадзор рекомендует[3] три основный способа для удаления радона из воды: отстаивание, аэрация и фильтрование воды через активированный уголь.

При рассмотрении вариантов реализации системы очистки вариант решения путем обустройства индивидуальных очистных установок в каждом жилом доме населенного пункта признан экономически нецелесообразным. Разумным решением будет организация централизованного метода удаления газа из вод, извлекаемых из подземных водоисточников, однако в условиях проектируемой системы водоснабжения малого населенного пункта строительство дорогих очистных сооружений может быть экономически нецелесообразно. Поэтому наиболее привлекательным вариантом видится создание аппаратно-программного комплекса, задачей которого будет удаление радона из системы и который можно будет встроить в классический элемент проектируемой или существующей системы водоснабжения (водонапорная башня).

В рамках данной статьи предлагается следующий способ исполнения конструкции АПК: производятся изменения в конструкции бака водонапорной башни, а именно разделение подающей трубы на подающую и принимающую. Верх подающей трубы приподнимается над уровнем дна бака на определенную высоту, определяемую гидравлическим расчетом. Определенный участок данной приподнятой трубы, модифицируется: на данном участке, зоне аэрации, устанавливается инжекторная установка, и за счет присоединения на этом участке специального водопровода, связанного с атмосферой, внутрь закачивается воздух. Воздух, поступающий под давлением, образует связи с радоном. На выходе из узко го участка образуется водовоздушная смесь, по мере подъема к вершине трубы кислород в воде достаточно растворится и свяжет достаточно радона, чтобы при переливе через верхушку трубы смесь разделилась на безопасную воду – поступающую потребителям и связанный радон, удаляемый из вершины бака системой вентиляции. Техническое оборудование, отвечающее за подачу воздуха в трубу под давлением и откачку насыщенного радоном воздуха из бака предполагается размещать над баком водонапорной башни. В дальнейшем необходимо предусмотреть решение проблемы с вероятным обморожением в зимний период и не допустить повторное насыщение воды радоном из закачиваемого с наружи воздуха.

Выводы

1. Попадание радона в жилые помещения несет долгосрочную угрозу здоровью населения.
2. Существующие способы решения проблемы не эффективны, либо экономически нецелесообразны для малых населенных пунктов.

3. Необходимо создание аппаратно-программного комплекса, способного решить проблему с радоном в системе водоснабжения и легко интегрируемого в проектируемые или существующие системы водоснабжения.

Библиографический список

1. А.А. Романова, Г.В. Игнатьев «Радон в системе централизованного водоснабжения» / Чита/ Вестник ЗабГУ /2011 г.

2. СанПиН 2.6.1.2523-09 («Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»)

3. МУ 2.6.1.1981-05. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов. Методические указания (утв. Роспотребнадзором 25.04.2005) (ред. от 04.08.2010)

УДК 627.51

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ПОЛОВОДНЫХ ВОД Р.ОКИ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ УЧАСТКАХ ДЕДИНОВСКОЙ ПОЙМЫ

***Каракулов Фёдор Андреевич**, аспирант, ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова», karakulov.fyodor@yandex.ru*
***Ханов Нартмир Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, khanov@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** В статье представлено описание процесса создания гидродинамической модели поверхностного стока половодья на мелиорируемых участках Дединовской поймы реки Оки. Гидродинамическая модель создана с применением программного комплекса MIKE 11. Результаты моделирования помогут прогнозировать затопления и оптимизировать управление водными ресурсами, планировать мелиоративные мероприятия и действия при ЧС.*

***Ключевые слова:** Дединовская пойма, половодье, гидродинамическое моделирование, MIKE 11, управление водными ресурсами.*

Работа выполнена по теме ««Исследование водного обмена мелиорируемого агроландшафта с применением цифровых технологий и имитационного моделирования для условий Российской Федерации …» (FGUF-2024-0001)» в рамках национального проекта «Наука и университеты» в 2024 году «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

Актуальность исследования обусловлена уязвимостью мелиорируемых сельскохозяйственных земель Дединовской поймы к воздействию половодных вод р.Оки. Территория поймы активно используется в сельскохозяйственных целях. Здесь расположены мелиорируемые участки животноводческих и растениеводческих хозяйств, а также частных фермерских образований, нуждающихся в защите от затопления в период прохождения весеннего половодья. Одновременно с этим на пойме присутствует развитая инфраструктура: населённые пункты, асфальтированные и грунтовые дороги, мосты, паромные переправы, Белоомутский гидроузел, а также объекты энергетики. Точное прогнозирование

распространения поверхностного стока и глубин затопления поспособствует организации следующих мероприятий:

- обеспечение безопасности местного населения;
- предотвращение ущерба мелиорируемым сельхозугодьям;
- повышение безопасности и надежности инженерных коммуникаций;
- оптимизация работы и обеспечение безопасности гидротехнических сооружений гидромелиоративной системы.

Цель работы - создание и верификация гидродинамической модели поверхностного стока половодья на мелиорируемых участках поймы р. Оки в программном комплексе MIKE 11. Полученная гидродинамическая модель позволит прогнозировать динамику затопления рассматриваемых территории, оценить эффективность работы гидротехнических сооружений в их текущем состоянии и, на основании полученных результатов, выработать рекомендации по управлению водными ресурсами в период прохождения половодья.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

1. Сбор и обработка исходных данных по объекту исследования (топография, гидрография, характеристики сооружений).
2. Формирование цифровой модели рельефа с отображением каналов и рек.
3. Настройка параметров модели в модулях Network и Structures программного комплекса MIKE 11 и запуск процесса моделирования.
4. Анализ и оценка полученных результатов моделирования, формирование выводов на их основе.

Объектом исследования является Дединовская пойма р.Оки, характеризующаяся сложной гидрографической сетью с перепадом высот рельефа до 10 м, где расположена система сбросных каналов на мелиорируемых сельхозугодьях и с наличием объектов инфраструктуры на возвышенных зонах потенциального затопления. Предметом исследования являются процессы формирования и распространения поверхностного стока в период половодья, включая взаимодействие речного стока с мелиоративной системой и гидротехническими сооружениями. Научная новизна работы заключается в применении программного комплекса MIKE 11 для моделирования половодного стока на рассматриваемой территории с учётом влияния современного состояния гидротехнических сооружений в составе мелиоративной системы.

Практическая значимость результатов моделирования будет состоять в возможности их использования:

- для прогнозирования зон и глубин затопления при различных сценариях половодья;
- при планировании мелиоративных мероприятий и ремонта/реконструкции гидротехнических сооружений;
- для разработки планов действий при чрезвычайных ситуациях;
- в целях оптимизации управления водными ресурсами пойменной территории.

MIKE 11 — модульный программный комплекс для одномерного гидродинамического моделирования, созданный в Danish Hydraulic Institute (DHI). Инструмент получил широкое распространение в мировой практике: его применяют для управления водными ресурсами, проектирования гидротехнических сооружений и оценки рисков затопления. Программный комплекс опирается на численные методы решения уравнений Сен-Венана, описывающих неустановившееся движение воды, что обеспечивает высокую точность расчётов при моделировании сложных гидродинамических процессов. Одно из преимуществ MIKE 11 - это его модульность, когда пользователь комбинирует разные модули в зависимости от поставленных задач. Благодаря этому инструмент подходит как для анализа работы отдельного гидротехнического сооружения, так и для моделирования крупных речных бассейнов. Программный комплекс поддерживает интеграцию данных из разных источников: ГИС-слоёв, табличных массивов, временных рядов гидрологических наблюдений. Результаты

расчётов визуализируются в наглядных форматах в виде графиков, таблиц, карт затопления [1]. Это облегчает анализ данных и представление итогов моделирования пользователю.

Для моделирования поверхностного стока половодных вод на мелиорируемых участках Дединовской поймы применены два основных модуля: Network и Structures. Они дополняют друг друга, позволяя создать комплексную модель, учитывающую как естественные процессы формирования половодного стока, так и влияние гидротехнических сооружений с их текущим состоянием.

Модуль Network служит фундаментом для построения расчётной сети водотоков и каналов. С его помощью создаётся топология системы: водотоки представляются в виде звеньев, соединённых узлами. Для каждого звена были заданы поперечные профили сечения русла и поймы, соответствующие реальной геометрии. Заданы параметры шероховатости - коэффициенты Маннинга для каналов и рек, которые влияют на скорость течения и распределение воды. Заданы граничные условия уровнями воды на границах участка. По этим данным в модуле просчитывается уравнение Сен-Венана и рассчитываются расходы и уровни воды во времени и пространстве. Модуль Structures дополняет модуль Network, позволяя моделировать работу гидротехнических и иных сооружений в составе гидромелиоративной системы. Каждое сооружение привязывается к конкретному узлу или звену расчётной сети. Все сооружения в модели это трубопереезды и каждому были заданы отметки низа трубы, диаметр, длина и протяжённость трубы. В ходе расчёта модули Network и Structures взаимодействуют между собой. Первый описывает общую гидродинамическую картину течения по сети водотоков, а второй вносит коррективы с учётом работы сооружений. Данные постоянно обмениваются: уровни и расходы из Network передаются в Structures, а результаты расчёта работы сооружений возвращаются в Network для обновления условий течения [2].

Для подготовки исходных данных к последующему моделированию были выполнены работы в программах QGis и GlobalMapper, а именно: создана сеть каналов различного порядка с привязкой к координатам местности, отмечены гидротехнические сооружения на каналах и р.Вобля, отсняты профили поперечного сечения шириной в 50 м на каналах и 600 м на р.Вобля. Значения высот рельефа были сняты с общедоступной карты FABDEM. Во время выездных исследований с применением геодезической рулетки, рейки и приёмника ForaOne были отсняты глубины каналов и параметры водопроводящих сооружений.

Для отображения каналов, мест установки трубопереездов и прочих гидротехнических сооружений в программе QGIS на карту местности Google Satelite были нанесены в виде полигонов-линий и соединены между собой, образуя сеть каналов гидромелиоративной системы [3]. Используемая карта местности представлена космоснимками датированными 2025-2026 гг. На карте применяется система координат EPSG:3857 - WGS 84 / Pseudo-Mercator. Созданные полигоны каналов названы магистральными и сбросными каналами и пронумерованы для удобства ориентирования и описания.

Созданная гидромелиоративная сеть перенесена в программу Global Mapper, в которой с рельефа карты FABDEM отсняты значения точек высот поперечных сечений каналов. В программный комплекс MIKE 11 в модуле Cross Section созданы поперечные сечения на каналах, с шагом в 2 км, в которые внесены координаты крайних точек сечений, актуальные отметки высот рельефа, скорректированные по результатам проведённых натурных измерений высот, полученным в ходе выездных исследованиях.

В модуле Structures созданы 52 сооружения, заданы их длина, диаметр и форма отверстия, высоты нижних отметок труб в верхнем и нижнем бьефах, характеристики работы и шероховатость труб. Коэффициент шероховатости труб задан 0.013, как для бетонных. Граничные условия всей гидродинамической модели заданы уровнями верхнего и нижнего бьефов Белоомутского гидроузла по данным 2024 г. Шаг по времени – посуточно. Также была создана ещё одна гидродинамическая модель (ГДМ 2) исследуемого участка без гидромелиоративной сети и сооружений. Сравнение результатов моделирования позволит

оценить влияние гидромелиоративной сети на отвод, задержку и уровни воды во время прохождения половодья.

Итоги моделирования:

- Уровни и среднесуточные расходы воды на ГДМ 1 ниже, чем на ГДМ 2;
- Среднесуточные расходы воды на ГДМ 1 выше, чем на ГДМ 2;
- На ГДМ 1 половодье заканчивается на сутки раньше, чем на ГДМ 2;
- Объёмы весеннего половодья различаются незначительно.

В процессе расчёта, модели выдавали ошибки по рельефу, расположению поперечных сечений, выход водного потока за границы модели и другие. Было решено провести дополнительные измерения новых створов поперечных сечений на каналах, технических характеристик трубопереездов, измерение глубин на водных объектах в течении 2026 года.

По результатам моделирования можно сделать предварительные выводы, что модель ведёт себя адекватно и приближена к реальным условиям. Расширять или уменьшать граничные условия нет необходимости. Требуются дополнительные измерения на гидротехнических сооружениях, с подробным описанием их технического состояния и работоспособности. В перспективе возможно внедрение результатов гидродинамического моделирования в работу местных фермеров и административных органов надзора и контроля, таких как МЧС, Минсельхоз, Минприроды, Минтранс.

Библиографический список

1. Раткович, Е. Л. Перспективы применения гидродинамического моделирования на мелиоративных системах / Е. Л. Раткович // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, Горки, 17–18 апреля 2025 года. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2025. – С. 147-149. – EDN WSUWOW.

2. Формирование гидродинамической модели стока для оценки функционирования гидротехнических сооружений на зарегулированном речном бассейне / А. А. Бубер, А. Л. Бубер, В. В. Ильинич [и др.] // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства : Сборник тезисов докладов VIII Всероссийского научно-практического семинара, Москва, 25 мая 2025 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2025. – С. 153-154. – EDN FCFOOY.

3. Акчурина, В. Р. Формирование цифровой базы данных объектов мелиорации бассейна р. Урал с применением ГИС-технологий / В. Р. Акчурина, Н. М. Попова, Е. Л. Раткович // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 21-24. – EDN ISXLHL.

УДК 502/504:627.8:69.05

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБЧАТЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ УРБОТЕРРИТОРИЙ

Кун Вэйси, *аспирант кафедры гидротехнических сооружений ИМВХиС имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,* 1226555682@qq.com

Черных Ольга Николаевна*, к.т.н., доцент кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,* chernih@rgau-msha.ru

Аннотация: *в статье рассмотрены ключевые факторы, влияющие на техническую и экологическую безопасность, долгосрочность работы водопропускных труб из гофрированного металла на урбанизированных территориях и мелиоративных системах. В исследовании анализируются основные аспекты коррозионных процессов, включая влияние почвенной среды (электрохимическая и микробиологическая коррозия), гидравлических*

условий и параметров качества воды (pH, хлориды, растворённый кислород). На основе современных исследований и экспериментальных данных предложены комплексные меры по повышению долговечности кульвертов из металла.

Ключевые слова: *водопропускные трубы, коррозия металлических кульвертов, безопасность, водопроводная сеть урботерриторий.*

В Китае с непрерывным повышением уровня урбанизации и быстрым развитием городской экономики постоянно растёт и уровень жизни населения. Водопроводные сети, как важная составляющая городских проектов жизнеобеспечения, приобретают особую значимость. По состоянию на 2020 год общая протяжённость городских водопроводных сетей в Китае достигла 1 миллиона километров. В связи с этим вопрос повышения срока службы водоводов становится чрезвычайно важным. В данной статье исследуются факторы, влияющие на срок службы водоводов в городских районах.

В городских системах водоснабжения используются в основном металлические трубы (чугунные, стальные), пластиковые трубы (PE, PVC) и трубы из композитных материалов (например, из стеклопластика, FRP). Согласно статистике Американской ассоциации водоснабжения (AWWA), подавляющее большинство водопроводных труб в США являются металлическими, из них серый чугун составляет 38%, высокопрочный чугун (ВЧШГ) — 22%, сталь — 5% [1].

В Китае не только более 90% существующих водопроводных сетей выполнены из чугунных и стальных труб, но и около 85% новых сетей водоснабжения по-прежнему используют гладкие (МТ), а не металлические гофрированные трубы (МГТ), имеющие большой ряд преимуществ среди всех остальных типов труб [2]. Поэтому в качестве объекта исследования мы берём металлические гофрированные трубы, более 150 лет используемых в России (рис. 1).

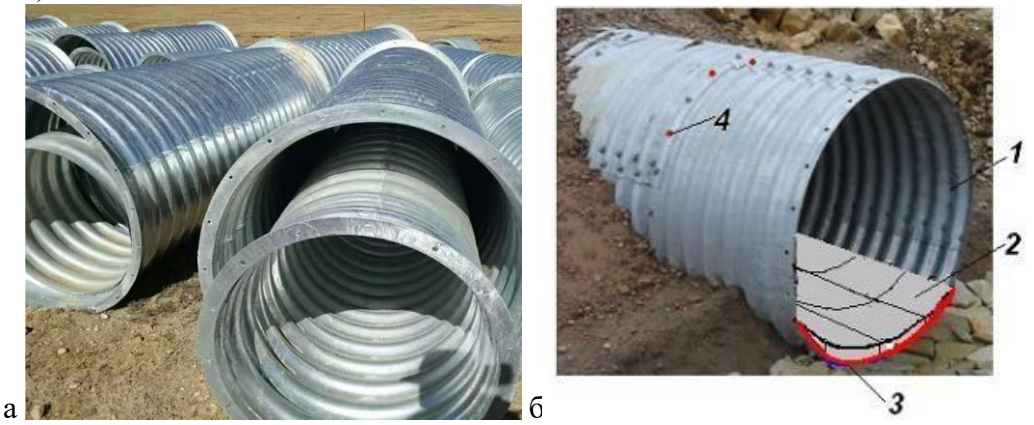


Рис. 1. Общий вид (а) и схема устройства кульверта из металлических гофрированных труб (МГТ) (б):

1 – МГТ; 2 – сборные железобетонные блоки противоэрозионного донного лотка; 3 – защитное покрытие; 4 – болтовое соединение

Любые трубы из металла подвержены коррозии, имеют относительно короткий срок службы, обычно от 30 до 50 лет, что значительно меньше расчётного срока эксплуатации. На долговечность МТ влияет множество факторов, включая воздействие почвы, в которой проложен трубопровод: кислотность (pH), содержание солей, влажность и микроорганизмы (например, сульфатвосстанавливающие бактерии) часто вызывают коррозию МТ, особенно кислые или засоленные почвы резко сокращают срок службы.

Также важное влияние оказывает гидравлический режим (скорость потока воды, вызывающая трение, и давление воды в трубопроводе). Длительное высокое давление или частые гидравлические удары приводят к усталостным разрушениям труб. Высокая скорость потока усиливает абразивный износ внутренних стенок труб, особенно заметно для МТ. Кроме

того, на коррозию труб влияет качество воды, например, растворённый кислород, хлорид-ионы, кислотность (pH) и другие факторы ускоряют коррозию [3,6].

Коррозия в грунте представляется в **основном химической и электрохимической коррозией** на поверхности металла. Химическая коррозия в основном проявляется на внешней поверхности МТ, скорость её медленная, эффект равномерный. МТ постепенно истончается в процессе коррозии, с точки зрения сквозного повреждения разрушающая способность относительно невелика. Для систем водоснабжения основным окислителем является растворённый кислород. Передача электронов в металле образует коррозионный ток, а перенос ионов в растворе электролита — ионный ток, реакции на аноде и катоде описывается уравнениями [4]:

$$M \rightarrow M^{n+} + ne^- \quad (1)$$

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \text{ (в кислой среде)} \quad (2)$$

$$\text{или } O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \text{ (в нейтральной/щелочной среде)} \quad (3)$$

При удельном сопротивлении грунта < 20 Ом·м чем ниже сопротивление, тем выше ионная проводимость и скорость электрохимической коррозии выше. Значение pH < 4,5 (сильнокислая) или > 9,0 (сильнощелочная) разрушает пассивную плёнку на поверхности металла, вызывая прямое химическое растворение. Окислительно-восстановительный потенциал < 100 мВ создаёт анаэробные условия, благоприятные для роста сульфатвосстанавливающих бактерий. Влажность 20...40% обеспечивает электролит, способствуя электрохимическим реакциям. Содержание растворимых солей (Cl^-, SO_4^{2-}) > 0,1%: хлорид-ионы разрушают пассивную плёнку, а сульфаты служат питательной средой для микроорганизмов, ускоряя коррозию металлических труб.

Основными микроорганизмами, влияющими на водопроводные МТ, являются сульфатвосстанавливающие бактерии (SRB) и железобактерии. Сульфатвосстанавливающие бактерии (SRB) потребляют водород в катодной зоне, разрушают защитную плёнку на поверхности трубы, позволяя реакции коррозии продолжаться. Железобактерии окисляют растворённое двухвалентное железо до гидроксида железа, образуя красно-коричневые «ржавые бугорки». Под такими бугорками часто находятся коррозионные язвы глубиной в несколько миллиметров, что легко может привести к внезапной протечке. Микробные сообщества (биоплёнки) создают разность потенциалов между покрытыми и непокрытыми участками, вызывая локальную точечную коррозию (язвенную), которая более опасна, чем равномерная коррозия, из-за своей скрытности. Сероводород и органические кислоты, вырабатываемые микроорганизмами, непосредственно растворяют металл, а сульфиды вызывают охрупчивание труб (сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением), что приводит к локальной коррозии или пробоям. Чжан Кэ в своём исследовании обнаружил, что сульфатвосстанавливающие бактерии в воде восстанавливают SO_4^{2-} до S^{2-}, которые затем реагируют с ионами железа или цинка в воде, образуя продукты коррозии — сульфид железа или сульфид цинка, как показано в уравнениях (4)—(6):

$$SO_4^{2-} + 8H \rightarrow S^{2-} + 4H_2O \quad (4)$$

$$Fe^{2+} + S^{2-} \rightarrow FeS \quad (5)$$

$$Zn^{2+} + S^{2-} \rightarrow ZnS \quad (6)$$

В зависимости от **гидравлического режима** скорость потока воды в МТ и МГТ может превышать критическое значение (обычно для стальных труб > 3 м/с, для чугунных > 1.5 м/с) [3]. Механическая сила сдвига потока разрушает пассивную плёнку или антикоррозионное покрытие на внутренней стенке трубы, обнажая металлическую основу для непосредственного контакта с коррозионной средой, что приводит к истончению и даже пробоям. В местах изменения сечения (изгибы, сужения/расширения) турбулентность создаёт высокочастотные вихри. Это не только усугубляет локальную эрозионную коррозию, но и приводит к циклическим усталостным напряжениям в стенке трубы, вызывая усталостные трещины от вибрации. Частые колебания давления вызывают микроскопические повторяющиеся расширения и сжатия металлической стенки трубы, что в долгосрочной перспективе приводит к росту усталостных трещин в местах дефектов сварных швов.

Исследования китайского эксперта Ван Липина [5,8] показывают, что увеличение скорости потока в турбулентном режиме ускоряет скорость диффузии растворённого кислорода и остаточного хлора, косвенно повышая скорость коррозии внутренних стенок труб. Одновременно более высокая скорость потока может смывать отложения и продукты коррозии с поверхности металла, разрушая защитную плёнку, что ещё больше увеличивает скорость коррозии системы. Китайский исследователь Цзян Байи [6,7] в своих выводах указывает, что влияние скорости потока на коррозию поверхности МТ и МГТ является сложным процессом: вначале скорость коррозии увеличивается с ростом скорости потока из-за увеличения количества кислорода на поверхности металла, и ускоряет катодные реакции. Когда скорость потока достигает определённого уровня, скорость поступления кислорода может создать условия для пассивации стали, и скорость коррозии резко снижается, пока при дальнейшем увеличении скорости не происходит механического разрушения защитного слоя поверхности МТ, и скорость коррозии снова возрастает.

Ключевыми показателями **качества воды**, влияющими на коррозию, являются [4,5]: значение pH, растворённый кислород (DO), хлорид-ионы (Cl^-), общее содержание растворённых твёрдых веществ (TDS) и электропроводность, а также остаточный хлор. Значение pH является первичным показателем коррозионной агрессивности воды. Низкий pH (кислая вода) непосредственно растворяет металлические стенки труб (железо, свинец, медь) и препятствует образованию защитных карбонатно-кальциевых отложений. Высокий pH (щелочная вода), хотя и замедляет общую коррозию, может вызывать локальную коррозию или растворение амфотерных металлов (например, алюминия, цинка). Растворённый кислород (DO) является основным катодным деполяризатором при электрохимической коррозии металлов. Его концентрация обычно положительно коррелирует со скоростью коррозии, особенно в зонах с высокой скоростью потока и турбулентностью. Хлорид-ионы (Cl^-) обладают высокой проникающей способностью, разрушают пассивную оксидную плёнку на нержавеющей стали и чугуне, провоцируя точечную коррозию и коррозионное растрескивание под напряжением, являясь основным коррозионным фактором в пристенных участках или при использовании гипохлорита натрия для дезинфекции. Общее содержание растворённых твёрдых веществ (TDS) и электропроводность (вода с высокой электропроводностью обладает большей ионной силой) значительно ускоряет скорость электрохимической коррозии. Важен и остаточный хлор: поддержание определённого уровня остаточного хлора подавляет образование биоплёнки, но хлор также взаимодействует с плёнкой продуктов коррозии на стенках труб, ускоряя коррозию. Дезинфекция хлораминами относительно мягче, что может способствовать росту нитрифицирующих бактерий [8].

Таким образом, деятельность сульфатвосстанавливающих бактерий (SRB) и железобактерий, в частности, легко вызывает скрытую и разрушительную локальную точечную коррозию и пробои, что является важным фактором внезапных протечек кульвертов. Гидравлический режим существенно влияет на долговечность внутренних стенок труб. Параметры качества воды, такие как pH и электропроводность, совместно определяют её коррозионную агрессивность. При определённых условиях остаточный хлор и хлорид-ионы могут стать основными факторами, ускоряющими коррозию. Ключом к продлению срока службы городских водоводов является принятие системной стратегии совместного контроля. Это включает: на этапе проектирования и выбора материалов — выбор коррозионностойких материалов или нанесение эффективных внешних антикоррозионных покрытий на основе данных изысканий грунта и воды, устройство специального противоэрозионного лотка на дне; на этапе эксплуатации — оптимизацию качества воды с помощью технологий водоподготовки (например, регулировка pH, контроль остаточного хлора) и использование ингибиторов коррозии; в управлении сетью — оптимизацию режимов для поддержания разумных и стабильных гидравлических условий, избегая резких колебаний давления; а также создание комплексной системы мониторинга коррозии внутренней и внешней поверхности труб, включая регулярный контроль коррозионной агрессивности грунта, активности

микроорганизмов и толщины стенок труб, для раннего предупреждения коррозионных рисков и профилактического обслуживания трубопроводов из стальных гофрированных элементов.

Библиографический список

1. Киселёв П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В. и др. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.
2. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Свод правил. СП 290. 1325800, п. 4.11. 2016. URL: https://docs.cntd.ru/document/456074911
3. Алтунин, В.И., Бурлаченко А.В., Черных О.Н. Гидравлические сопротивления водопропускных труб из гофрированного металла с повышенной абразивной устойчивостью// Гидротехническое строительство. – 2016. - №6. С. 23 – 29.
4. Suetina, T. A., Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts / T.A. Suetina, O. N. Chernykh and A. V. Burlachenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering 1–8 July 2018, Novosibirsk, Russian Federation. Volume 456, Section 4. 31 December 2018. - 5 p.
5. Черных, О.Н. Заиление трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла / О.Н. Черных, Н.В. Ханов, Бурлаченко А.В. // Природообустройство. – 2018. - №1. – С. 38-44.
6. ОДМ 218.2.087-2017 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из спиральновитых металлических гофрированных труб» ФГУП «Информавтодор». – М.: ФДА (РОСАВТОДОР), 2017. – 129 с.
7. Черных О.Н., Суэтина Т.А., Бурлаченко А.В. Научные основы совершенствования методов гидравлического расчёта дорожных гофрированных труб из металла / М.: МАДИ, 2020. 234 с.
8. Лю Фэнмин, Цзинь Ли, Ли Цинго, Сунь Чун, Чжао Жупэн, Ян Вэньтай, У Вэй. Оценка коррозионного воздействия подземных вод на водоводы проекта переброски воды из реки Хуанхэ в Цзяодун. Журнал Цзинаньского университета, 2023. №5.

УДК 628.1

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН В ЧЕБУЛИНСКОМ МУНИЦИПАЛЬНОМ ОКРУГЕ: ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ

Левин Вячеслав Олегович *аспирант кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, nanobars15340gmail.com*

Аннотация: *Проведено обследование 21 водозаборной скважины в Кемеровской области. Выявлены основные технические дефекты в скважинах. Предложены приоритетные мероприятия по модернизации: ограждение ЗСО, герметизация оголовков, ликвидация неэксплуатируемой скважины.*

Ключевые слова: *водозаборные скважины, техническое обследование, зона санитарной охраны, дефекты, модернизация, сельское водоснабжение.*

Введение

Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной задачей жилищно-коммунального хозяйства, особенно на сельских территориях, где водоснабжение часто осуществляется от рассредоточенных скважинных водозаборов [2]. В Чебулинском муниципальном округе Кемеровской области-Кузбасса основным источником водоснабжения служат подземные воды, приуроченные к отложениям Западно-Сибирского артезианского

бассейна [1]. Водоснабжение 21 населенного пункта обеспечивается 21 эксплуатационной скважиной.

Длительная эксплуатация водозаборных скважин (многие пробурены в 1960-1980-х гг.) приводит к ухудшению их технического состояния: коррозия обсадных колонн, разгерметизация оголовков, износ насосного оборудования [3]. Эти факторы снижают производительность водозаборов и создают угрозу загрязнения подземных вод. Несмотря на нормативные требования (СП 31.13330.2021, СанПиН 2.1.4.1110-02), техническое состояние многих сельских водозаборов остается неудовлетворительным.

Цель настоящей работы – анализ технического состояния водозаборных скважин Чебулинского муниципального округа и выработка практических рекомендаций по повышению надежности их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: провести обследование 21 водозаборной скважины с фиксацией технических параметров и выявленных дефектов; систематизировать типичные проблемы по группам (герметичность, состояние павильонов, глубина установки насосов, измерительное оборудование); разработать перечень приоритетных мероприятий по модернизации водозаборов с оценкой их эффективности.

Объекты и методы исследования

Объекты исследований. Объектом настоящего исследования является групповой водозабор подземных вод ОАО «СКЭК», расположенный на территории Чебулинского муниципального округа Кемеровской области-Кузбасса. Водозаборный узел включает 21 эксплуатационную скважину, рассредоточенную на 21 площадке в 14 населенных пунктах: с. Усманка (3 скважины), д. Михайловка (2), с. Алчедат (2), с. Курск-Смоленка (2), с. Усть-Серта (3), с. Чумай (2), а также по одной скважине в с. Николаевка, с. Усть-Чебула, с. Дмитриевка, д. Покровка, п. Первый, д. Орлово-Розово, с. Шестаково [1].

Скважины оборудованы на три типа водоносных комплексов: верхнечетвертичный аллювиальный (с. Чумай); верхнемеловой кийской свиты (с. Усманка); нижнемеловой илекской свиты (остальные скважины) [4]. Большинство скважин пробурены в период с 1966 по 2012 гг., их глубина составляет от 10,5 до 170 м.

Методы исследований. В 2025 году (июнь-сентябрь) специалистами ООО «ЭКОСТАНДАРТ «Технические решения» было проведено комплексное обследование всех 21 водозаборной скважины. Программа обследования включала следующие виды работ: визуальный осмотр технического состояния скважин, павильонов, оголовков, насосного оборудования; определение высотных отметок устьев скважин (нивелирование); измерение статических и динамических уровней подземных вод электроуровнемерами УСК-ТЭ2-100 и УСК-ТЭ2-200 (погрешность ±1 см); проверку наличия и работоспособности водоизмерительных приборов (счетчики СТВХ, ВСКМ); фиксацию состояния зон санитарной охраны (ЗСО) I пояса (наличие ограждения, твердого покрытия, знаков); фотофиксацию выявленных дефектов.

Дополнительно были проанализированы паспорта скважин, журналы водоотбора за 2021-2025 гг., а также результаты геофизических исследований (ГИС), выполненных в июле 2025 г. организацией ООО «Востокгео» (гамма-каротаж, резистивиметрия, видеокаротаж).

Классификация дефектов проводилась по группам: герметичность оголовка; состояние павильона; ограждение I пояса ЗСО; глубина установки насоса; наличие средств мониторинга (водосчетчики, пьезотрубки).

Результаты

В результате комплексного обследования 21 водозаборной скважины, проведенного в 2025 г., был выявлен ряд системных технических дефектов, существенно влияющих на надежность водоснабжения и санитарную безопасность эксплуатации подземных вод. Обобщенные данные по типам и частоте встречаемости дефектов представлены в таблице 1.

Состояние зон санитарной охраны. Критическое нарушение – отсутствие ограждения I пояса ЗСО у 20 из 21 скважины. Исключение – скв. №4 в с. Покровка, но ее ограждение не соответствует проекту. Твердое покрытие отсутствует на всех водозаборах, что затрудняет

отвод стока и создает условия для пылевого загрязнения. Согласно СанПиН 2.1.4.1110-02, территория I пояса должна быть спланирована, озеленена и ограждена [2]. Выявленные нарушения создают угрозу бактериального загрязнения, что подтверждается превышениями ОКБ и E.coli (с. Шестаково, д. Покровка, с. Курск-Смоленка, с. Усть-Серта).

Таблица 1

Технические дефекты водозаборных скважин

Тип дефекта	Количество скважин	Примеры населенных пунктов	Потенциальные последствия
Отсутствие ограждения I пояса ЗСО	20 из 21	Все, кроме с. Покровка	Доступ посторонних, риск загрязнения
Негерметичный оголовок скважины	3	с. Усть-Серта (№842), с. Усманка	Утечка воды, попадание поверхностных загрязнений
Отсутствие или неудовлетворительное состояние павильона	5	с. Алчедат (№555), с. Покровка, с. Усть-Серта	Замерзание оборудования, доступ посторонних
Грунтовый (земляной) пол в павильоне	12	д. Михайловка, п. Первый, с. Орлово-Розово и др.	Пылевое загрязнение, грызуны
Насос заглублен ниже фильтра	2	с. Чумай (№6д), с. Усманка	Перегрев насоса, снижение ресурса
Отсутствие пьезометрической трубки	8	с. Николаевка, с. Усть-Чебула, д. Покровка и др.	Невозможность замера динамического уровня

Анализ выявленных дефектов. На рисунке 1 представлены фотографии наиболее характерных нарушений, зафиксированных в ходе обследования.



Рис. 1 Типичные дефекты водозаборных скважин на участке недр «Чебулинский»:
**а – негерметичный оголовок скважины (с. Усть-Серта, скв. №842);*
б – разрушенный павильон скважины (с. Алчедат, скв. №555);
в – отсутствие ограждения первого пояса ЗСО (д. Михайловка, скв. №1127)

Техническое состояние скважин и оборудования. Негерметичность оголовков – в трех скважинах (с. Усть-Серта, скв. №842; с. Усманка). В скв. №842(2) оголовок высотой 0,05 м не обеспечивает герметизации, что при изливе воды приводит к подтоку и риску обратного подсоса загрязнений.

Состояние павильонов – от удовлетворительного до неудовлетворительного. В с. Алчедат (скв. №555) павильон разрушен (нет двери и стены), скважина доступна посторонним. В с. Покровка скв. №4 не имеет павильона (устье на открытом воздухе). Грунтовый пол – в 12 павильонах (57 %), что создает пылевое загрязнение и способствует проникновению грызунов.

Глубина установки насосов. В двух скважинах (с. Чумай, скв. №6д; с. Усманка) насосы заглублены ниже фильтра, что приводит к перегреву, снижению ресурса и КПД.

Посторонние предметы. По данным видеокаротажа, в 20 из 21 скважины обнаружены обломки старого оборудования, трубы, кабели. Это создает риски при ремонте и подъеме насоса.

Отсутствие средств мониторинга. В 8 скважинах нет пьезометрических трубок, что делает невозможным регулярный замер динамического уровня, нарушая требования мониторинга.

Положительные аспекты. Все действующие скважины оснащены поверенными водосчетчиками. Территория вокруг большинства скважин регулярно очищается, ведется покос травы. Недропользователь ведет журнал водоотбора.

Выводы (Заключение)

Проведенное комплексное обследование 21 водозаборной скважины на участке недр «Чебулинский» позволило выявить системные технические и организационные проблемы, характерные для сельских групповых водозаборов Кемеровской области-Кузбасса. На основе полученных результатов сформулированы следующие выводы и рекомендации.

Установлено, что критическим нарушением, создающим угрозу санитарной безопасности подземных вод, является практически повсеместное отсутствие ограждения первого пояса ЗСО (95 % скважин) и твердого покрытия на его территории (100 % скважин). Данные нарушения в совокупности с негерметичностью оголовков (14 % скважин) и неудовлетворительным состоянием павильонов (24 %) создают реальные предпосылки для бактериального загрязнения, что подтверждается выявленными в ряде скважин превышениями ОКБ и E.coli.

Выявлены существенные недостатки в организации мониторинга подземных вод: 38 % скважин не оборудованы пьезометрическими трубками для замера уровней, что делает невозможным регулярное наблюдение за динамикой напоров. При этом все скважины оснащены поверенными водосчетчиками, что позволяет контролировать объем водоотбора.

Техническое состояние скважинного оборудования требует внимания: в 10 % скважин насосы заглублены ниже фильтра, что приводит к перегреву и снижению ресурса оборудования; в 95 % скважин по данным видеокаротажа обнаружены посторонние предметы (обломки насосов, кабели), создающие риски при ремонтных работах.

На основе систематизации выявленных дефектов разработан перечень первоочередных мероприятий по модернизации водозаборов (таблица 2). Приоритетными являются работы, связанные с санитарной безопасностью: ограждение I пояса ЗСО, герметизация оголовков, ликвидация неэксплуатируемой скважины №127 в с. Чумай.

Таблица 2

Технические дефекты водозаборных скважин

Мероприятие	Приоритет	Ожидаемый эффект
Ограждение I пояса ЗСО (забор, знак, твердое покрытие)	Высокий	Предотвращение загрязнения, выполнение требований СанПиН

Герметизация оголовков скважин (сальники, резиновые уплотнения)	Высокий	Исключение подсоса поверхностных вод
Ликвидация скважины №127 (с. Чумай)	Высокий	Устранение потенциального канала загрязнения
Ремонт или строительство павильонов (утепление, бетонный пол, замок)	Средний	Защита от замерзания, ограничение доступа
Переподвеска насосов в интервал фильтра	Средний	Снижение перегрева, повышение КПД
Установка пьезометрических трубок	Средний	Организация регулярного мониторинга уровня
Извлечение посторонних предметов из скважин	Низкий	Снижение рисков при ремонтах

Результаты проведенного обследования имеют практическую значимость для недропользователя ОАО «СКЭК» и могут быть использованы при планировании ремонтно-восстановительных работ, а также при разработке обновленного проекта зон санитарной охраны. Рекомендуется распространить подобную практику ежегодных комплексных обследований на все водозаборные скважины в регионе для своевременного выявления и устранения дефектов, повышения надежности систем сельского водоснабжения и снижения рисков загрязнения подземных вод.

Библиографический список

1. Баранов В.Ю. Разведка запасов подземных вод на участке недр «Верх-Чебулинский» для питьевого водоснабжения населения пгт. Верх-Чебула Чебулинского муниципального округа Кемеровской области-Кузбасса : отчет (по состоянию изученности на 01.09.2023 г.) / В.Ю. Баранов. – [Б. м. : б. и.], 2023. – Лицензия КЕМ 02250 ВЭ от 30.12.2021 г. – ТКЗ № 1657.

2. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения : санитарные правила и нормы. – Москва : Минздрав России, 2002. – 17 с.

3. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 : свод правил. – Москва : Минстрой России, 2021. – 121 с.

4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 : изд. 2-е. Серия Кузбасская. Лист N-45-IV (Чумай) / В.Н. Токарев, Д.В. Митрохин, А.Н. Уваров [и др.]. – Москва : ФГУГП «Запсибгеолсъемка», 2019.

УДК 628.35:004.94:504.5

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ТАРГЕТИРОВАННОГО УДАЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ НОВЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Ло Лянюй, *студент, Институт международного образования ПМГМУ им. И.М. Сеченова, niu985@sina.com*

У Цзинсюй*, магистрант, физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, wuxj@my.msu.ru*

Аннотация: *Предложен компактный теоретико-прикладной подход к созданию цифрового двойника системы восстановления водных ресурсов для адресного удаления и*

прогноза миграции новых загрязнителей, включая PFAS, микропластик и антибиотики. Показано, что интеграция мониторинга, гибридного моделирования и предиктивного управления позволяет перейти от реактивной эксплуатации очистных сооружений к управлению рисками повторного использования воды.

Ключевые слова: *цифровой двойник, WRRF, PFAS, микропластик, водоповторное использование*

Современные очистные сооружения всё чаще рассматриваются не только как санитарный барьер, но и как элементы системы возврата воды, энергии и материалов в хозяйственный цикл. В этой связи концепция Water Resource Recovery Facility (WRRF) постепенно вытесняет традиционное представление о «wastewater treatment plant». Наиболее уязвимым звеном такого перехода остаются новые загрязнители — *contaminants of emerging concern* (CECs), к которым относятся PFAS, микропластик, фармацевтические вещества, антибиотики и маркеры антибиотикорезистентности [1–4]. Для них характерны следовые концентрации, высокая устойчивость, сложное перераспределение между водной и твёрдой фазой и существенная зависимость судьбы загрязнителя от конкретной технологической цепочки.

Традиционная схема контроля качества воды, основанная на периодическом лабораторном анализе и ретроспективной интерпретации, недостаточна для систем повторного использования воды. Инженерной системе требуется не только фиксировать факт присутствия загрязнителя, но и предсказывать его поведение в разных узлах WRRF: в усреднителе, биореакторе, линии мембранной доочистки, сорбционном блоке, окислительном барьере и потоке возвратных вод. Именно здесь цифровой двойник выступает как вычислительное ядро, которое связывает реальные данные, физико-химическую модель и алгоритмы машинного обучения в едином контуре управления [1, 3].

В общем виде динамика цифрового двойника может быть записана как

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t, d_t, \theta) + \varepsilon_t,$$

где x_t — вектор состояния WRRF, u_t — управляющие воздействия, d_t — внешние возмущения, θ — параметры модели, а ε_t — совокупность неучтённых факторов. Наблюдаемые переменные формируются по соотношению

$$y_t = h(x_t) + \ _t,$$

где y_t объединяет как стандартные технологические показатели, так и индикаторы CECs. Такая постановка удобна тем, что механистическая часть модели отвечает за гидравлику, массоперенос и балансы вещества, а дата-ориентированный блок компенсирует неполноту описания и уточняет прогноз в реальном времени.

Для практики WRRF принципиально важен не универсальный лозунг «удалять всё максимально», а риск-ориентированный выбор приоритетов. Поэтому в статье предлагается использовать индекс адресного удаления:

$$I_i = \alpha C_i + \beta P_i + \gamma T_i + \delta E_i - \lambda \eta_i,$$

где C_i — измеренная концентрация загрязнителя, P_i — его персистентность, T_i — токсикологическая значимость, E_i — вероятность экспозиции при повторном использовании воды, а η_i — ожидаемая эффективность удаления в текущей технологической конфигурации. Тогда цифровой двойник может не только фиксировать превышение, но и ранжировать загрязнители по инженерной и санитарной значимости.

Для PFAS наибольший эффект, как правило, дают сорбционные и мембранные барьеры; для микропластика — тонкое процеживание, коагуляция, флотация и мембранное удержание; для антибиотиков и части фармацевтических соединений — комбинации MBR, озонирования, AOP и сорбции [2–5]. При этом один и тот же загрязнитель может быть частично удалён из водной фазы, но перераспределён в осадок или концентрат, что требует сквозного прогноза его судьбы, а не локальной оценки на одном участке технологической схемы.

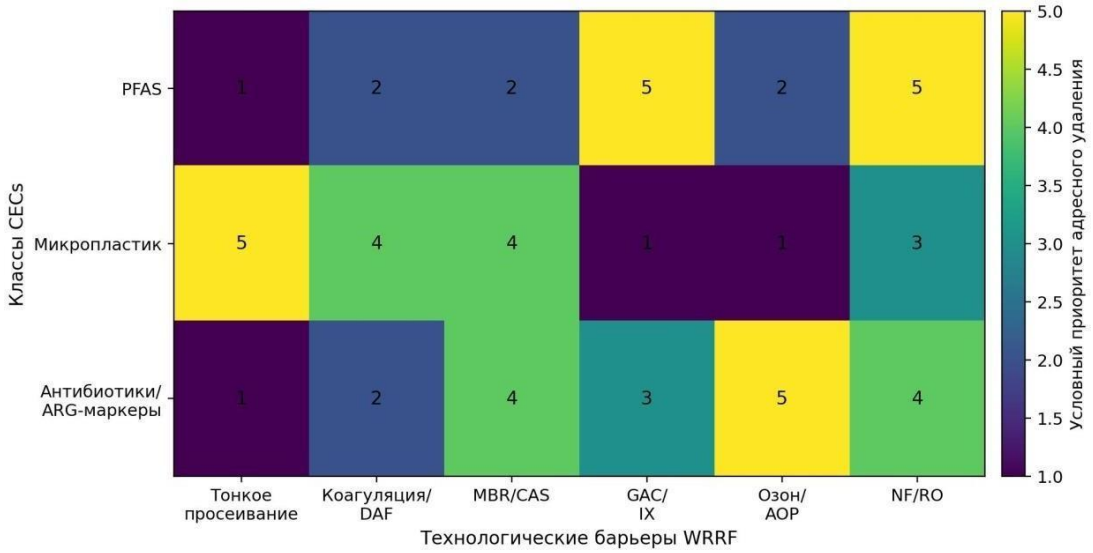


Рис. 1. Матрица приоритетов адресного удаления CECs по классам загрязнителей и технологическим барьерам WRRF

На рис. 1 представлена матрица приоритетов адресного удаления CECs по основным классам загрязнителей и технологическим барьерам. В отличие от блок-схемы, такой формат удобен для конференционной статьи, поскольку показывает не последовательность аппаратов, а относительную применимость отдельных барьеров в составе цифрового двойника. Для PFAS максимальный приоритет имеют GAC/ионный обмен и NF/RO; для микропластика — тонкое просеивание и коагуляционно-флотационные узлы; для антибиотиков и ARG-маркеров — MBR/CAS в сочетании с озонированием и AOP.

С инженерной точки зрения цифровой двойник WRRF должен включать четыре взаимосвязанных слоя: физический объект, контур измерений, модельное ядро и слой поддержки решений. Однако для небольшой конференционной статьи целесообразно сосредоточиться на минимально необходимом контуре внедрения: (1) выбор приоритетных CECs; (2) настройка программы мониторинга; (3) идентификация критических узлов перераспределения загрязнителя; (4) калибровка гибридной модели; (5) сценарный прогноз и выбор управляющего воздействия. Именно такой минимальный контур обеспечивает переход от наблюдения к предиктивному управлению.

Таблица 1

Приоритетные классы CECs и цифровые контуры управления

Группа CECs	**Основные индикаторы контроля**	**Предпочтительный контур удаления**	**Ключевой путь миграции**
PFAS	Сумма целевых PFAS, LC-MS/MS, интегральные фторорганические показатели	GAC, ионный обмен, NF/RO	Очищенная вода, концентрат, осадок
Микропластик	Численность частиц, размерный спектр, морфология	Тонкое просеивание, коагуляция, флотация, мембраны	Очищенная вода, осадок
Антибиотики и ARG-маркеры	Концентрации целевых	MBR/CAS, озонирование, AOP, сорбция	Очищенная вода, биомасса, рециклы

Группа CECs	Основные индикаторы контроля	Предпочтительный контур удаления	Ключевой путь миграции
	антибиотиков, qPCR/ARG-маркеры		

Как видно из табл. 1, разные группы CECs требуют не только разных методов аналитического контроля, но и разных контуров управления. Для PFAS ключевым становится контроль прохождения через сорбционные и мембранные барьеры и учёт накопления в концентрате и осадке. Для микропластика требуется отслеживание размерного спектра и перераспределения частиц между очищенной водой и твёрдой фазой. Для антибиотиков и ARG-маркеров важен совместный анализ концентраций, микробиологических параметров и окислительно-биологических режимов.

Практическое значение цифрового двойника состоит в том, что оператор WRRF получает не только информацию о текущем состоянии системы, но и прогноз на горизонт от нескольких часов до нескольких суток. Это позволяет заранее оценить последствия изменения состава притока, повышения доли возвратных потоков, изменения нагрузки на биореактор, насыщения сорбента или смещения режима мембранной фильтрации. В условиях повторного использования воды такая прогностическая способность становится не дополнительной функцией, а основой надёжной эксплуатации [1, 3, 5].

Таким образом, цифровой двойник WRRF следует рассматривать как платформу для интеграции экологической аналитики, инженерного моделирования и поддержки решений по новым загрязнителям. Его ключевое преимущество состоит в переходе от постфактум-контроля к опережающему управлению риском. Для дальнейшего развития подхода необходимы стандартизация перечня приоритетных CECs, расширение онлайн- и атлайн-аналитики, накопление верифицированных данных и унификация цифровых протоколов между лабораторией и технологическим контуром. В этом случае WRRF сможет реализовать модель «обнаружить — предсказать — удалить — безопасно вернуть в оборот».

Библиографический список

1. Wang A.-J., Li H., He Z. et al. Digital Twins for Wastewater Treatment: A Technical Review // Engineering. 2024. Vol. 36. P. 21–35. DOI: 10.1016/j.eng.2024.04.012.
2. Khan U. A., Loffler P., Spilsbury F., Wiberg K., Stalsby Lundborg C., Lai F. Y. Towards sustainable water reuse: A critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 480. Art. 136175. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.136175.
3. Cairone S., Hasan S. W., Choo K.-H. et al. Revolutionizing wastewater treatment toward circular economy and carbon neutrality goals: Pioneering sustainable and efficient solutions for automation and advanced process control with smart and cutting-edge technologies // Journal of Water Process Engineering. 2024. Vol. 63. Art. 105486. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.105486.
4. Key EPA Actions to Address PFAS [Electronic resource] // U.S. Environmental Protection Agency. URL: https://www.epa.gov/pfas/key-epa-actions-address-pfas (accessed: 17.04.2026).
5. Water Reuse and Recycling [Electronic resource] // U.S. Environmental Protection Agency. URL: https://www.epa.gov/waterreuse (accessed: 17.04.2026).
6. World Health Organization. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. Geneva: WHO, 2022. 154 p.
7. Antimicrobial Resistance (AMR) [Electronic resource] // United Nations Environment Programme. URL: https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/chemicals-management/pollution-and-health/antimicrobial (accessed: 17.04.2026).

УДК 627.838:631.6

ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА ГИДРОДИНАМИКУ РАБОТЫ ВОДОБОЙНОГО УЧАСТКА

Лю Цаньлун, *магистр кафедры гидротехнических сооружений ИМВХиС имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, liucanlong7@gmail.com*
Черных Ольга Николаевна*, к.т.н., доцент кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, chernih@rgau-msha.ru*

Аннотация: *в статье рассмотрено влияние кавитации на конструкцию и действующие нагрузки на элементы крепления нижнего бьефа высоконапорного водосбросного сооружения. Показано, что при работе гасителей в условиях кавитации происходит увеличение пульсации нагрузки по сравнению с бескавитационным режимом. Поэтому при прочностных расчётах гасителей энергии и других элементов крепления нижнего бьефа гидроузлов необходимо учитывать помимо осреднённой и пульсационную составляющую нагрузки.*

Ключевые слова: *кавитация, пульсация, эрозия, безэрозионный гаситель, коэффициент сопротивления.*

С развитием строительства высоконапорных гидротехнических сооружений (ГТС) в горных районах, актуальной задачей является разработка надежных и экономичных устройств нижнего бьефа, обеспечивающих интенсивное гашение энергии потока. Для Китая применение “безэрозионных” гасителей энергии, работающих при кавитации без образования кавитационной эрозии в них, необходимо знать и учитывать, так как интенсивно возводимые в настоящее время в КНР гидроузлы работают, рассчитываются и эксплуатируются при установке гасителей энергии и растекателей в зонах, испытывающих большие скорости потока, снимая или уменьшая при этом ограничения по кавитации, увеличивая кавитационную безопасность отдельных элементов ГТС и гидроузла в целом. Учитывая, что гасители энергии являются эффективными средствами предотвращения опасных сбойных течений в нижнем бьефе, позволяют повысить отметку водобоя и удешевить крепления нижнего бьефа это актуальная мировая гидротехническая проблема.

Цель работы — обосновать применение безэрозионных гасителей энергии для вновь строящихся и реконструируемых ГТС. Задача — изучить распределение гидродинамических нагрузок на плиты водобоя в условиях кавитирующего потока. В основе кавитация лежит образование в жидкости пузырьков, заполненных паром или газом. При локальном падении давления ниже давления насыщенного пара пузырьки, попадая в зону высокого давления, коллапсируют, создавая ударные волны и вызывая эрозию поверхности. Таким образом, кавитация является источником значительных гидродинамических нагрузок на любое высококлассное ГТС и привести к разрушению его элементов. Кроме того, длительная вибрация и высокий уровень шума могут привести к снижению надежности и долговечности ГТС, а также к проблемам с экологией и комфортом персонала.

Можно выделить следующие типы кавитации: вихревая — возникает на осях вихрей внутри потока и не вызывает эрозии стенок; перемежающаяся — образуется на поверхности и наиболее опасна для конструкций; развитая — пузырьки объединяются в каверну, изменяя гидродинамику потока. Процесс характеризуется так называемым числом кавитации $\sigma < 1$ [1-3]. Чем ниже значение σ, тем выше риск кавитации. Кавитация усиливает пульсации давления потока, происходящие при больших скоростях движения воды, особенно при установке гасителей энергии на транзитном тракте водосброса. Коллапс пузырьков генерирует ударные волны, вызывая вибрацию конструкций, акустический шум и усталостные разрушения облицовок и анкеров. Различные типы гасителей энергии активно выполняют в нижнем бьефе

ГТС свои функции: уменьшение затопляющей глубины, ускорение гашения энергии, успокоение потока и снижение сбойности течения потока как в самом транзитном тракте, так и в отводящем русле за водосбросным сооружением. Выделяют основные типы гасителей [4]: пирсы, шашки, зубчатые пороги, растекатели, носки-расщепители и пр. Например для Нижне-Кафирниганского гидроузла [6] коэффициент пульсации нагрузки увеличивался по мере развития кавитации и соответствующего изменения σ от 0,2 до 0,7 примерно в 2 раза, а при σ < 0,5 намечалась тенденция к его снижению.

Рассмотрены проблемы кавитации для одного из крупнейших гидротехнических комплексов Китая на реке Хуанхэ - гидроузел Сяоланди (рис. 1). Сяоланди является крупным комплексным ГТС с плотиной высотой 154 м, объединяющим функции борьбы с наводнениями, водоснабжения, орошения и гидроэлектроэнергетики.



Рис. 1 Сброс воды во время паводка водосбросом гидроузла Сяоланди, Китай, $H_{пл.}$ = 154 м, длина 1317 м, установленная мощность ГЭС 1836 МВт

Конструкция системы энергогашения гидроузла Сяоланди отличается особым своеобразием. В ней применены различные гасители энергии, включая диафрагменные энергогасители, в котором за счет резкого сужения и расширения потока создается интенсивная турбулентность, используемая для эффективного гашения энергии, снижая скорость течения потока, и тем самым защищая нижний участок реки и водобойный участок от разрушений, вызываемых высокоскоростным потоком и кавитацией. Были проанализированы возможности применения безэрозионных (суперкавитирующих) гасителей энергии потока, разработанных ещё под руководством Н.П. Розанова в 90-х годах прошлого века и использованных на ряде высоконапорных гидроузлов СССР и мира (Шамхорский, Рогунский, Артёмовский, Нижне-Кафирниганский, Чарвакский, Туполангский, Мамаканский, Бонневильский и др.). Результаты экспериментов в специальном вакуумном стенде показали, что кавитация существенно изменяет структуру потока, увеличивает интенсивность турбулентности и приводит к образованию сложных вихрей. С углублением степени кавитации среднее давление в энергогасящем бассейне значительно снижается, а амплитуда пульсаций давления резко возрастает. Энергогасители без кавитационной эрозии могут эффективно снизить пульсации давления, действующие на дно водобоя разной конфигурации, и проявляют хорошие эксплуатационные преимущества [5,6]. Анализ распределения скоростей потока при этом свидетельствует, о том, что кавитация существенно изменяет структуру потока, увеличивает интенсивность турбулентности и приводит к образованию сложных вихрей. При развитии кавитации наблюдается значительное снижение осредненного давления в зоне действия гасителей. Амплитуды пульсаций давления и нагрузок значительно возрастают, особенно это ярко проявляется в развитой стадии кавитации. При усильной степени кавитации и турбулентности высокоскоростной основной поток смещается от стенок к центру транзитного канала. Энергогасители без кавитационной эрозии способствуют

выравниванию распределения скоростей, что очень благоприятно для снижения местного размыва и риска кавитации на элементах водобоя и рисбермы, снижают вероятность сбоя потока в отводящем русле нижнего бьефа.

После анализа условий образования кавитации и современных исследований, направленных на снижение последствий её воздействия для гидроузла «Сяоланди», был предложен комплекс защитных мероприятий ГТС (рис. 2). Его ключевыми моментами являются: оптимизация формы элементов водосброса (использование безэрозионных гасителей энергии шашечного типа и растекателей); применение на ответственных участках материалов с повышенной устойчивостью к кавитационным разрушениям; подвод воздух в поток для повышения локального давления; исключение работы водосброса в опасных режимах.

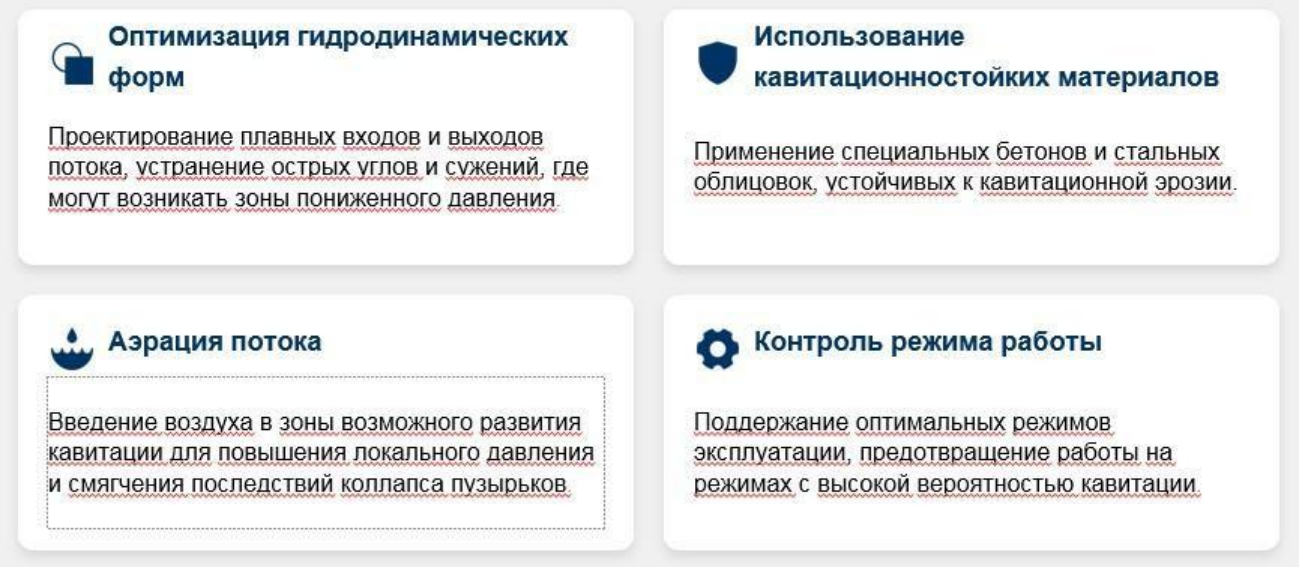


Рис. 2 Предлагаемые меры защиты от кавитации на гидроузле Сяоланди, КНР

Итогом исследования являются следующие выводы: кавитация представляет серьезную проблему для водосбросных проектов с высоким напором; энергогасители без кавитационной эрозии («безэрозионные») являются эффективным способом решения этой проблемы; кавитация существенно изменяет гидродинамические характеристики водяной подушки; экспериментальные исследования подтвердили отличные эксплуатационные свойства новых энергогасителей. Эти результаты имеют важное значение для руководства инженерной практикой особенно сооружений I и II класса ответственности и архиактуальны для инжиниринга плотин с напором более 100 м.

Библиографический список

1. Киселёв П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В. и др. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.
2. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Свод правил. СП 290. 1325800, п. 4.11. 2016. URL: https://docs.cntd.ru/document/456074911
3. Волков В.И., Черных О.Н., Румянцев И.С., Алтунин В.И. и др. Открытые береговые водосбросы. М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. 243 с. elib.timacad.ru
4. Ван Цзюньсин, Дун Цзунши. Исследование гидравлических характеристик неполной конструкции с широким хвостовым оперением для рассеивания энергии [J]. Журнал гидротехники, 2020, 51(3): 321-330.

5. Obidov B., Vokhidov O., Shodiev B., Ashirov B., Saraeva M. (2020) Hydrodynamic loads on a water drain with cavitation quenchers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 883. Pp. 012011. DOI:10.1088/1757- 899x/883/1/012011
6. Черных О.Н., Бурлаченко Я.Ю., Бурлаченко А.В. Гидродинамические исследования расширяющегося водобоя с гасителями энергии безэрозионной конструкции за трубчатым водосбросом // Природообустройство. 2025. №4. С.81-88.

УДК 626.627

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Медведева Анна Александровна, *младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», E-mail: maa.vniiraduga@yandex.ru.*

Аннотация: *В статье рассмотрены современные подходы к обследованию гидротехнических сооружений с применением цифровых технологий. Показано, что использование информационного моделирования и концепции цифрового двойника позволяет повысить точность оценки технического состояния сооружений и эффективность принятия инженерных решений.*

Ключевые слова: *гидротехнические сооружения, цифровой двойник, BIM-технологии, обследование, БПЛА.*

В последние годы в практике обследования гидротехнических сооружений (ГТС) всё более широкое распространение получают методы, базирующиеся на цифровых технологиях сбора и обработки данных. Данный подход обусловлен необходимостью повышения точности оценки технического состояния сооружений, а также перехода от локальных измерений к комплексному анализу объекта как единой инженерной системы. Традиционные методы обследования, основанные на визуальной диагностике и выборочных инструментальных измерениях, характеризуются ограниченной полнотой информации и значительной зависимостью результатов от субъективных факторов [1, 2].

Технологическим фундаментом цифрового обследования выступают современные высокоточные средства сбора пространственных данных и программные среды информационного моделирования. Процесс создания и анализа цифровых двойников гидротехнических сооружений реализуется с использованием специализированных программных комплексов, таких как Midas GTS NX, NanoCAD Geonics, ЛИРА-САПР, Renga и другие, обеспечивающих интеграцию геодезической, геологической и гидрометеорологической информации в единую цифровую среду [1, 3, 4].

Ключевым элементом цифрового подхода является формирование цифрового двойника сооружения. В отличие от традиционных трёхмерных моделей, цифровой двойник представляет собой динамичную информационно-расчётную систему, включающую геометрические характеристики объекта, семантические атрибуты материалов и конструкций, а также связанные с геометрией расчётные модели. Это позволяет не только визуализировать объект, но и выполнять анализ напряжённо-деформированного состояния, фильтрационных процессов и устойчивости сооружения при различных эксплуатационных воздействиях [3, 6].

Формирование цифрового двойника осуществляется на основе комплексной интеграции данных инженерных изысканий. Геодезические работы обеспечивают получение высокоточной пространственной модели, инженерно-геологические и геофизические исследования формируют основу для анализа взаимодействия сооружения с основанием, а инструментальное обследование позволяет выявлять дефекты конструкций и количественно оценивать их параметры. Интеграция указанных данных в единую цифровую модель

обеспечивает их согласованность и позволяет перейти к системному анализу состояния объекта [1, 4].

Практическая реализация цифрового подхода подтверждается разработками в области создания цифровых двойников гидромелиоративных систем. В частности, перспективным направлением является использование беспилотных надводных аппаратов, предназначенных для работы в условиях мелководья и зарастания акваторий. Применение таких технических средств позволяет существенно повысить точность получения данных о подводной части сооружений и обеспечить их последующую интеграцию в цифровую модель.

Особую роль в цифровом обследовании играют технологии дистанционного зондирования. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) обеспечивают получение высокодетализированной информации о надводной части сооружений, включая построение ортофотопланов, цифровых моделей рельефа и трёхмерных моделей конструкций. Дополнительно могут применяться методы термографического контроля и автоматизированного распознавания дефектов на основе алгоритмов машинного обучения [5].

Для обследования подводной части гидротехнических сооружений используются гидрографические комплексы, включая многолучевые эхолоты и гидролокаторы бокового обзора. Эти технологии позволяют выполнять батиметрическую съёмку и выявлять подводные дефекты без проведения дорогостоящих водопонизительных мероприятий. Интеграция данных, полученных с воздушных и водных носителей, обеспечивает формирование единого высокоточного «облака точек», являющегося основой для построения цифровой модели гидротехнического сооружения [4, 5].

Организация работ при цифровом обследовании отличается от традиционного подхода и включает несколько взаимосвязанных этапов. На этапе инженерных изысканий выполняется комплексная съёмка объекта с применением лазерного сканирования, фотограмметрии и гидролокации. На этапе инструментального обследования осуществляется выявление дефектов, их классификация и пространственная привязка к элементам цифрового двойника. Завершающий аналитический этап включает проведение поверочных расчётов непосредственно в среде цифровой модели с использованием актуализированных параметров сооружения и характеристик материалов, что позволяет повысить достоверность оценки технического состояния и выполнить прогнозное моделирование [4, 6, 7].

Дополнительным преимуществом цифрового подхода является возможность многократного использования сформированной модели на различных этапах жизненного цикла сооружения. Цифровой двойник может применяться для планирования ремонтных мероприятий, оценки остаточного ресурса, анализа сценариев аварийных воздействий и организации системы мониторинга. Это обеспечивает переход от разовых обследований к непрерывному управлению состоянием гидротехнических сооружений.

Таким образом, внедрение цифровых технологий в практику обследования ГТС обеспечивает переход от фрагментарной диагностики к комплексному анализу объекта на основе интеграции разнородных данных. Использование цифровых двойников повышает точность инженерных расчётов, улучшает визуализацию результатов обследования и создаёт основу для повышения надёжности и безопасности гидротехнических сооружений.

Библиографический список

1. Качаев А.Е., Турапин С.С. Использование BIM-технологий при обследовании гидротехнических сооружений // Технические науки. — 2025. — № 1. — С. 18–23.

2. Качаев А.Е. Эффективность информационного моделирования при обследовании ГТС // Наука и мир. — 2025. — № 2. — С. 5–10.

3. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 392 с.

4. Качаев А.Е., Брыль С.В. Возможности BIM-технологий при обследовании ГТС // International Agricultural Journal. — 2024. — Т. 67, № 4. — С. 112–120.

5. Кадысева А.А. и др. Применение БПЛА при обследовании ГТС // Вестник науки и образования. — 2025. — Т. 11, № 3. — С. 57–72.
6. Булгаков Д.В. Современные технологии обследования ГТС // Современные исследования. — 2025. — С. 47–55.
7. Турапин С.С. Алгоритм обследования ГТС с использованием BIM // Наука и мир. — 2025. — № 6. — С. 26–30.

УДК 626/627

СИСТЕМА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ И АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ III И IV КЛАССОВ

Михеев Сергей Анатольевич, *аспирант кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, serga.m.2021@gmail.com*
Научный руководитель - Зборовская Марина Ильинична, *доцент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, zborovskya@rgau-msha.ru*

Аннотация. *Для мониторинга технического состояния бетонных ГТС III и IV классов разработан алгоритм учета особенностей конструкций, условий эксплуатации и вероятных механизмов повреждений ГТС в виде причинно-диагностической цепочки «механизм – дефект – признак – параметр – метод контроля». Систематизация наблюдений и цифровой учет дефектов повышают надёжность эксплуатационных решений.*

Ключевые слова*: гидротехнические сооружения (ГТС), мониторинг, бетонные плотины, дефекты, параметры контроля, III и IV классы.*

Целью работы является разработка системы контролируемых параметров и алгоритма мониторинга бетонных гидротехнических сооружений III и IV классов. Такие сооружения — самая массовая часть работающих сегодня плотин, водосбросов, сопрягающих и водопроводящих конструкций. Большинство объектов построено десятилетия назад, а мониторинг часто сводится к периодическим осмотрам без диагностической оценки [1]. Регулярные обходы при нерасшифрованных симптомах могут привести к тому, что вместо планового ремонта потребуются экстренные меры.

Научная новизна состоит в систематизации контролируемых параметров бетонных ГТС III и IV классов по причинно-диагностической связи «механизм повреждения — дефект — диагностический признак — контролируемый параметр — метод контроля», что позволяет перейти от разрозненных осмотров к воспроизводимой цифровой системе мониторинга.

Какие проблемы для подобных эксплуатируемых сооружений волнуют сегодня специалистов и как поддерживается работоспособность таких ГТС?

В отличие от ГТС I и II классов, для сооружений III и IV классов характерны ограниченные ресурсы эксплуатационных служб, отсутствие сложной контрольно-измерительной аппаратуры и необходимость применять простые и доступные методы контроля. Для III класса рекомендуется периодичность осмотров не реже 2-х раз в год, для IV класса – не реже 1-го раза в год, внеочередные осмотры при экстремальных нагрузках (паводки, землетрясения). Основные факторы, влияющие на состояние: гидростатические нагрузки, фильтрация, температурные перепады, старение бетона [2, 3].

Всё это работает не поодиночке, «поведение» ГТС — это часть сложной системы водопользования, завязанная на уровень воды в водоёме, на состояние грунтов основания, уровень грунтовых вод и даже то, как местное хозяйство меняет режимы эксплуатации (скажем, резко сбрасывает уровень воды весной). Мониторинг ГТС включает также и цифровые технологии [1].

Такая комплексная проблема требует «собирающего» подхода. Мы сознательно уходим от случайных проверок к выстроенной системе: какие дефекты фиксируем, где именно ищем повреждения и какую информацию должна выдавать каждая точка контроля? Нам нужно целостное представление о поведении сооружения в эксплуатации, состав контролируемых параметров и реально действующий алгоритм наблюдений (табл. 1) [2, 3].

Какие дефекты встречаются? В первую очередь —трещины различного происхождения (термические, усадочные, конструкционные); фильтрационные проявления (мокрые пятна, выход воды), деформации (осадка, крен); разрушение бетона (выкрашивание, эрозия, каверны); дефекты швов и сопряжений. Для водосбросов добавляется опасность кавитационной эрозии [4-6].

Система контролируемых параметров соответствует СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» и РД 153-34.2-21.342-00) (табл. 1).

Важно не только наличие дефекта (отмечаем в журнале «замечено нарушение»), а отслеживание его развития во времени. Сколько месяцев увеличивается ширина раскрытия трещины? Как быстро распространяется зона влажности при подозрении на фильтрацию? При этом переходим от общего описания повреждений к системе наблюдаемых признаков и измеряемых параметров. Логика предлагаемого подхода: механизм повреждения выявляется через дефект, дефект — через диагностический признак, а диагностический признак — через конкретный контролируемый параметр. Это делает наблюдения сопоставимыми и пригодными для последующего учета (табл. 1).

Таблица 1

Система контролируемых параметров мониторинга бетонных ГТС III и IV классов

Вид дефекта	Диагностический признак	Контролируемый параметр	Метод контроля
Трещины	наличие, изменение раскрытия	длина, ширина раскрытия (мм), влажность	визуальный осмотр, измерители трещин
Фильтрационные проявления	мокрые пятна, выход воды	расход (л/с), мутность, влажность	визуальный и инструментальный контроль
Деформации	осадка, смещение, крен	осадка (мм), горизонтальное смещение, раскрытие швов	геодезические измерения
Разрушение бетона	выкрашивание, эрозия, каверны	площадь повреждения (м²), глубина разрушения (мм)	визуальный осмотр, неразрушающий контроль
Дефекты швов	раскрытие, локальная фильтрация	ширина шва (мм), смещение, просачивание	визуальный и инструментальный контроль

Числовые критерии оценки дефектов (определены на основе СП 58.13330.2019 и отраслевых рекомендаций):

1. ширина раскрытия трещин: <0,1 мм – норма; 0,1–0,3 мм – контроль; >0,3 мм – внеочередной осмотр; >0,5 мм – ремонт;
2. фильтрационный расход (на 1 м напора): <0,01 л/с – норма; 0,01–0,05 л/с – усиленный контроль; >0,05 л/с – противофильтрационные мероприятия;
3. локальная (неравномерная) осадка: до 10 мм/год – наблюдение; 10–20 мм/год – геодезический мониторинг; >20 мм/год – специальное обследование;
4. площадь разрушения бетона: <0,5 м² – локальный ремонт; >0,5 м² – плановое восстановление.

Логика формирования системы контроля представлена в виде последовательности действий:

1. Сбор исходной информации по сооружению (конструкция, грунты, режим эксплуатации).
2. Выделение зон риска (напорная грань, водобойный колодец, деформационные швы).
3. Определение вероятных типов дефектов в каждой зоне.
4. Выбор диагностических признаков (наличие мокрого пятна, рост трещины и т.д.).
5. Назначение контролируемых параметров и методов измерений.
6. Фиксация результатов в цифровом журнале: последовательно (пусть даже кратко — но всегда одинаково).
7. Анализируем накопленную хронологию развития проблемы, в том числе с применением «цифры» (табл. 2).

Таблица 2

Структура цифрового журнала для систематизации наблюдений

Поле цифрового журнала	Смысл
ID дефекта	уникальный номер
Тип дефекта	трещина, фильтрация, каверна
Координата / зона	где обнаружено
Дата наблюдения	хронология
Параметр	ширина, длина, расход, влажность
Фото	визуальное подтверждение
Статус	стабилен / развивается / требует ремонта

Практически методы контроля можно условно разделить на три уровня сложности:

1) Визуальный обзор (самый быстрый способ уловить подозрительные пятна, трещины или осыпание).

2) Простейшие инструментальные методы (геодезическая рейка, щуп для промерки щели, измеряем раскрытие трещины; дренажный расход оцениваем мерной ёмкостью).

3) Цифровая фиксация и учёт результата (мобильные устройства могут использоваться для первичной фотофиксации; данные хранятся компактно в единой электронной базе – электронные журналы); базы дефектов, геоинформационная привязка наблюдений.

Тут важный момент для инженера-эксплуатационщика - все данные лучше собирать сразу в цифровой журнал. Это экономит время при анализе истории каждой трещины/пятна/локального крена; легко подключать коллег для экспертной оценки ситуации; проще искать закономерности между погодными условиями и изменениями режима эксплуатации.

Ключевой результат - грамотная система мониторинга не усложняет работу на месте. Цифровая фиксация дефектов создаёт основу для последующего применения методов машинного зрения и нейросетевого анализа изображений, однако на первом этапе достаточно электронного журнала, фотоархива и табличной базы дефектов.

Лучшие инженерные решения растут из понимания причинно-следственных связей каждого нового дефекта. Не бывает изолированных разрушений бетона вне контекста всего поведения сооружения за последние годы. Современные возможности цифрового учёта позволяют сделать историю объекта «прозрачнее», а надежность эксплуатации выше даже без привлечения сложнейших автоматизированных комплексов.

В работе [7] предложенная структура цифрового журнала соответствует второму (аналитическому) уровню базы данных по классификации, где первичные данные (фото, координаты) дополняются статусом и динамикой изменений

Как отмечено работе [7] сложные ИДС требуют высокоскоростных каналов связи, что труднодостижимо для удалённых ГТС III–IV классов. Поэтому на первый план выходят визуальный осмотр, простые инструменты и мобильная фотофиксация без постоянного онлайн-соединения.

Такой подход вполне реален уже сегодня для большинства российских ГТС среднего масштаба: пристальное внимание к деталям контроля даёт огромную фору системе формальных отчётов прошлых лет.

Разработанная система контролируемых параметров и алгоритм мониторинга учитывают особенности ГТС III и IV классов, ограниченные ресурсы эксплуатации и необходимость простых, надёжных методов контроля. Введение числовых критериев и цифрового журнала повышает объективность оценки технического состояния. Дальнейшее развитие связано с применением методов машинного анализа изображений для автоматического распознавания дефектов.

Библиографический список

1. Михеев, С. А. Инновационные подходы к мониторингу бетонных плотин III и IV классов в целях устойчивого природопользования / С. А. Михеев // Инновационные технологии и повышение эффективности производственных процессов в сфере строительства, природообустройства и агроинженерии : материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик, 2025. – С. 34–38. – EDN PDTQJZ.
2. Зимнюков, В. А. Учет экологических факторов при оценке жизненного цикла гидротехнических сооружений / В. А. Зимнюков, М. И. Зборовская, А. В. Белавкин // Экологические и биологические системы. – Москва : МАКС Пресс, 2015. – С. 23–27. – EDN VNBLFD.
3. О безопасности гидротехнических сооружений Рублевского гидроузла (Рублевской станции водоподготовки – РВС) / Л. И. Кондратьев, М. И. Зборовская, В. А. Зимнюков, Г. В. Кавжарадзе // Природообустройство. – 2010. – № 3. – С. 29–38. – EDN MUQATH.
4. Оценка воздействия комплексов гидротехнических сооружений на формирование ландшафтов водоохранных зон Москворецкой и Волжской водохозяйственных систем / М. А. Хрусталева, С. В. Суслов, М. И. Зборовская, В. А. Зимнюков // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 27–34. – EDN UONCAL.
5. Каньяругендо, Л. Температурные воздействия на гидротехнические сооружения / Л. Каньяругендо // Сборник студенческих научных работ. – Москва, 2019. – С. 165–167. – EDN HPUKIE.
6. Рекомендации по предупреждению кавитационной эрозии бетона на примере водосброса № 2 Богучанской ГЭС / А. П. Гурьев, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков [и др.] // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 69–77. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77. – EDN NDELNK.
7. Затеева, Е. Ю. Контроль диагностических параметров в автоматизированных информационно-диагностических системах ГТС / Е. Ю. Затеева, Д. И. Иванова // Наукосфера. – 2025. – № 5-2. – С. 140-145. – DOI 10.5281/zenodo.15489537. – EDN TLLNCO.

УДК 626.8:628.2

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Мурадов Артем Рустамович, *аспирант 1-го курса кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, E-mail: adamantrsx@gmail.com*

Научный руководитель – ***Фартуков Василий Александрович****, кандидат технических наук, доцент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.*

Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, vasfar@mail.ru

Аннотация. *Актуальность исследования обусловлена интенсивной урбанизацией и увеличением доли водонепроницаемых покрытий, что приводит к росту поверхностного стока и перегрузке гидротехнических систем ливневой канализации в городах. Цель работы — анализ особенностей функционирования гидротехнических систем ливневой канализации в условиях городской территории, выявление факторов, влияющих на эффективность их работы, и обоснование методов повышения надёжности и пропускной способности гидротехнических сооружений водоотведения. В ходе исследования применялись методы анализа научной и нормативной литературы, сравнительный анализ инженерных решений, системный подход к оценке функционирования гидротехнической инфраструктуры. Установлено, что основными проблемами эксплуатации являются перегрузка коллекторов, снижение пропускной способности из-за засорения и эрозионных процессов, а также загрязнение сточных вод. Предложены современные подходы к управлению ливневым стоком, включая локальные системы задержания, инфильтрационные технологии и методы защиты гидротехнических сооружений от гидродинамического воздействия. Результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации гидротехнических систем городского водоотведения.*

Ключевые слова: *гидротехнические сооружения, ливневая канализация, поверхностный сток, урбанизация, водонепроницаемые покрытия, водоотведение, инфильтрация, гидродинамическое воздействие, эрозия, защитные покрытия.*

Введение

Гидротехнические сооружения систем ливневой канализации — коллекторы, отводящие каналы, водосбросы, регуляционные сооружения — играют ключевую роль в обеспечении водоотведения атмосферных осадков на урбанизированных территориях. Увеличение площади водонепроницаемых покрытий (асфальт, бетон, кровли зданий) и изменение природного водного баланса приводят к значительному росту поверхностного стока и повышению гидравлической нагрузки на гидротехнические объекты [1, с. 3]. В условиях плотной застройки нагрузка возрастает. Требуется пересмотр подходов к проектированию и эксплуатации гидротехнических систем ливневой канализации [2, с. 15].

Целью настоящей работы является анализ особенностей функционирования гидротехнических систем ливневой канализации в условиях городской территории, выявление факторов, влияющих на эффективность их работы, и обоснование методов повышения надёжности и пропускной способности гидротехнических сооружений водоотведения.

Задачи исследования:

1. проанализировать конструктивные особенности гидротехнических сооружений ливневой канализации в городах;
2. выявить основные проблемы функционирования гидротехнических систем в условиях урбанизации;
3. оценить влияние природных и антропогенных факторов, включая гидродинамическое воздействие водного потока, на работу гидротехнических объектов.

Методы исследования

В работе применялись следующие методы:

1. анализ научной и нормативной литературы по проектированию и эксплуатации гидротехнических сооружений ливневой канализации;
2. сравнительный анализ инженерных решений (локальные системы задержания, инфильтрационные технологии, защитные покрытия);
3. системный подход к оценке функционирования гидротехнической инфраструктуры городских территорий.

Формирование поверхностного стока и его влияние на гидротехнические сооружения

Влияние урбанизации. Урбанизация приводит к сокращению инфильтрации осадков в грунт, увеличению коэффициента стока и ускорению формирования паводкового расхода. В результате возрастают пиковые расходы воды, поступающие в гидротехнические сооружения ливневой канализации — коллекторы, водосбросы, отводящие каналы. Это создаёт риск перегрузки и разрушения элементов системы [1, с. 4].

Роль водонепроницаемых покрытий. Асфальт, бетон и кровли зданий практически исключают инфильтрацию. Это вызывает быстрое накопление стока, увеличение объёма воды, поступающей в гидротехнические объекты. Повышается риск локальных подтоплений и гидродинамического воздействия на элементы системы [1, с. 6; 3, с. 22].

Основные проблемы функционирования гидротехнических систем ливневой канализации

Перегрузка гидротехнических сооружений. Существующие коллекторы, каналы и водосбросы часто проектировались на меньшие расчётные нагрузки. В современных условиях это приводит к переполнению, выходу воды на поверхность, затоплению улиц и подземных сооружений. Возникают аварийные ситуации на гидротехнических объектах [1, с. 8].

Засорение и снижение пропускной способности. Гидротехнические сооружения ливневой канализации засоряются. Твёрдые бытовые отходы, наносы песка и грунта, нефтепродукты снижают гидравлическую эффективность. Требуется регулярное обслуживание. Растёт риск гидравлических ударов и локальных эрозионных процессов [4, с. 45].

Загрязнение сточных вод и воздействие на водные объекты. Поверхностный сток с урбанизированных территорий содержит тяжёлые металлы, нефтепродукты, взвешенные вещества. Сброс неочищенных ливневых вод через гидротехнические сооружения ухудшает экологическое состояние водных объектов [4, с. 47].

Современные подходы к управлению ливневым стоком в гидротехническом аспекте

Локальные системы задержания стока. Для снижения нагрузки на гидротехнические сооружения применяются накопительные резервуары, регулирующие бассейны, дождевые сады. Они позволяют снизить пиковые расходы, поступающие в коллекторы и водосбросы. Частично очищают воду [5, с. 112].

Инфильтрационные технологии как метод защиты гидротехнических систем. Проницаемые покрытия и инфильтрационные сооружения восстанавливают естественный водный баланс. Пополняют подземные воды. Снижают нагрузку на гидротехнические объекты ливневой канализации [6, с. 58]. Композиционные геоматы [9] показывают хорошие результаты при защите откосов каналов и регуляционных сооружений от размыва. Это проверенный способ борьбы с водной эрозией на урбанизированных территориях.

Защита гидротехнических сооружений от гидродинамического воздействия. Как отмечают авторы [8], «гидродинамическое воздействие водного потока на защитное покрытие носит нестационарный характер и требует учёта пульсационных составляющих скорости». Учёт турбулентных характеристик и скоростного режима необходим для обеспечения долговечности гидротехнических объектов. Геосинтетические материалы, рассмотренные в работе [8], могут применяться для укрепления русел, откосов и элементов ливневой канализации, работающих в условиях высоких гидравлических нагрузок.

Методы расчёта и моделирования гидротехнических систем

Для оценки эффективности гидротехнических сооружений ливневой канализации используются гидрологические расчёты (метод рациональной формулы), гидравлическое моделирование потоков, численные модели водоотведения. Современные программные комплексы (SWMM, StormCAD) позволяют учитывать пространственную неоднородность городской среды [2, с. 35; 7; 8, с. 9]. Данные разнятся. Гидравлические исследования защитных

покрытий [8] демонстрируют: корректное моделирование гидродинамического воздействия позволяет предотвратить эрозионные разрушения элементов гидротехнических систем.

Результаты исследования

Установлено следующее. Гидротехнические системы ливневой канализации в городах испытывают значительные нагрузки. Причина — увеличение доли водонепроницаемых покрытий и высокая степень застройки. Ключевые факторы: плотность застройки, интенсивность осадков, состояние инфраструктуры, уровень обслуживания, гидродинамические параметры потока. Основные проблемы — перегрузка коллекторов и водосбросов, снижение пропускной способности из-за засорения и эрозии, загрязнение сточных вод.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. В работах Кутлимуродова У. и Толлибоева И. [3, с. 20] отмечается: увеличение доли водонепроницаемых покрытий — главный фактор роста поверхностного стока и нагрузки на гидротехнические сооружения. Авторы концепции устойчивых дренажных систем (SUDS) [6] подчёркивают эффективность инфильтрационных технологий для восстановления водного баланса и снижения пиковых нагрузок.

Особого внимания заслуживает гидродинамическое воздействие водного потока. Исследования [8] показывают: характер обтекания защитных покрытий и распределение скоростей потока существенно влияют на долговечность гидротехнических сооружений. Это важно. Водосбросы, быстротоки, перепады и коллекторы ливневой канализации требуют учёта этих факторов.

Практическая реализация технологий в условиях плотной застройки сопряжена с высокими затратами. Нужен пересмотр нормативных требований. Перспективное направление — комбинированные гидротехнические решения: локальное задержание, инфильтрация, очистка стока, защита от гидродинамического воздействия.

Заключение

Урбанизация существенно влияет на формирование поверхностного стока и работу гидротехнических систем ливневой канализации. Основные проблемы: перегрузка гидротехнических сооружений, снижение пропускной способности из-за засорения и эрозии, загрязнение сточных вод. Современные технологии управления стоком — локальные системы задержания, инфильтрационные технологии, методы защиты от гидродинамического воздействия — позволяют повысить эффективность водоотведения. Дальнейшие исследования: разработка адаптивных методов расчёта гидротехнических систем, оптимизация параметров сооружений с учётом изменения климата и роста урбанизации.

Выводы

1. Функционирование гидротехнических систем ливневой канализации в городской среде характеризуется высокой зависимостью от антропогенной нагрузки (доля водонепроницаемых покрытий, плотность застройки) и климатических факторов (интенсивность и повторяемость осадков).
2. Основная проблема — перегрузка гидротехнических сооружений (коллекторов, каналов, водосбросов) и недостаточная адаптация к изменяющимся условиям. Результат — затопление территорий, ухудшение экологической обстановки.
3. Повышение эффективности гидротехнических систем возможно за счёт комплексного подхода: модернизация сетей, внедрение локальных систем задержания, инфильтрационных технологий, методов очистки поверхностного стока.
4. Учёт гидродинамического воздействия водного потока [8] и применение геосинтетических материалов для защиты от эрозии [9] — важные резервы повышения надёжности и долговечности гидротехнических сооружений ливневой канализации.

Библиографический список

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006. — 87 с.
2. Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации. — М.: ФАУ «ФЦС», 2019. — 64 с. — URL: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp06_2019.pdf (дата обращения: 20.04.2026).
3. Кутлимуродов У., Толлибоев И. Отвод атмосферных сточных вод от зданий и сооружений // Science and Education. — 2022. — Т. 3. — № 2. — С. 18-25.
4. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Структура канализации. — URL: https://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/struktura_kanalizovaniya/ (дата обращения: 20.04.2026).
5. Алёшин С.А., Журавлёв А.А. Инженерные системы водоотведения: проектирование и эксплуатация. — М.: Издательство АСВ, 2021. — 248 с.
6. Sustainable urban drainage systems (SUDS) — What it is and where do we stand today? / C. Li, D. Butler, J. Zhou, S. Tait. — 2018. — URL: https://www.researchgate.net/publication/326624217 (дата обращения: 20.04.2026).
7. Справочно-информационный портал «Погода и климат». Климат Москвы. — URL: http://www.pogodaiklimat.ru/ (дата обращения: 20.04.2026).
8. Козлов К.Д., Ханов Н.В., Фартуков В.А., Козлов Д.В. Исследования гидродинамического воздействия водного потока на защитное покрытие из геосинтетического материала // Строительство: наука и образование. — 2018. — Т. 8. — № 1 (27). — С. 9.
9. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Еремеев А.В., Козлов К.Д., Фартуков В.А., Щукин С.Н. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией. — М., 2020.

УДК 626+004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МОНИТОРИНГЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНЫХ КАМЕР И ДРОНОВ

Посадсков Фёдор Евгеньевич *Аспирант кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, posadskov03@gmail.com*
Редников Сергей Николаевич *доктор технических наук, профессор Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Srednikov@mail.ru*

Аннотация. *Статья посвящена теме применений технологий искусственного интеллекта для мониторинга гидротехнических сооружений, а именно компьютерного зрения. Проводится детальный сравнительный анализ двух основных подходов к визуальному мониторингу: стационарных камер с круглосуточным наблюдением и беспилотных летательных аппаратов для периодических обследований.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, машинное обучение, гидротехнические сооружения, мониторинг, компьютерное зрение.*

1. Введение. Гидротехническое строительство представляет собой одну из наиболее сложных отраслей инженерной деятельности, характеризующуюся уникальным сочетанием масштабных конструкций и экстремальных условий эксплуатации. Современные плотины, гидроэлектростанции и судоходные шлюзы – это объекты, протяженность которых может

достигать нескольких километров, при этом значительная их часть расположена в труднодоступных местах: на горных реках, в зонах с суровым климатом, вдали от развитой инфраструктуры. Эксплуатация таких сооружений сопряжена с постоянным воздействием агрессивных факторов: гидростатического и гидродинамического давления воды, вибрации от работающих гидроагрегатов, температурных перепадов, образования тумана и водяной пыли в нижнем бьефе.

В этих условиях традиционные методы визуального контроля силами обходчиков и инспекторов становятся недостаточно эффективными. Человеческий глаз не способен зафиксировать медленно развивающиеся деформации, а периодичность осмотров не позволяет выявить аварийные ситуации на ранней стадии [1]. Именно здесь на помощь приходят технологии компьютерного зрения (Computer Vision, CV), основанные на алгоритмах искусственного интеллекта и глубокого обучения [2].

Компьютерное зрение в применении к гидротехническим сооружениям решает широкий спектр задач: автоматическое обнаружение и мониторинг развития трещин в бетонных массивах, выявление признаков фильтрации воды через тело плотины, контроль геометрических смещений конструкций с субмиллиметровой точностью, верификация правильности армирования при строительстве, обеспечение безопасности периметра от несанкционированного доступа, а также оценка размывов донных отложений и береговой линии водохранилища. Системы CV способны непрерывно анализировать видеопоток, выделять аномалии и формировать предупреждения для оперативного персонала задолго до того, как дефект станет критическим [3].

2. Использование стационарных камер

2.1. Технологическая основа

Современные системы стационарного видеомониторинга ГТС строятся на базе IP-камер высокого разрешения (от 4K и выше), обеспечивающих детализацию, достаточную для обнаружения трещин шириной от 0,1 мм на расстоянии до нескольких десятков метров.

Для расширения зоны обзора применяются роботизированные поворотные платформы, позволяющие оператору или автоматическому алгоритму направлять камеру на интересующий участок с возможностью оптического увеличения [3]. Тепловизионные камеры дополняют визуальный контроль, выявляя температурные аномалии, связанные с фильтрацией воды через бетон. Все оборудование интегрируется в единую сеть с передачей данных по оптоволоконным линиям связи на центральный сервер обработки, где алгоритмы CV анализируют поступающие изображения в режиме реального времени.

2.2. Преимущества стационарных камер

1. Непрерывность мониторинга и предиктивная аналитика. Стационарные камеры обеспечивают сбор данных в режиме 24/7 без выходных и праздников, независимо от погодных условий и времени суток [1]. Это позволяет накапливать временные ряды изображений, на основе которых алгоритмы машинного обучения строят прогностические модели развития дефектов.

2. Стабильность кадра и субмиллиметровая точность измерений. Жестко закрепленная камера снимает один и тот же участок конструкции с неизменного ракурса, что исключает ошибки совмещения кадров и обеспечивает точное сравнение изображений. При использовании специальных геодезических марок-мишеней и прецизионных объективов с минимальными дисторсиями достигается точность измерения смещений до 0,1-0,3 мм, что соответствует требованиям геодезического мониторинга первого класса точности.

3. Интеграция в SCADA-системы ГЭС. Данные с камер передаются в автоматизированную систему управления технологическим процессом (SCADA) в режиме

реального времени [3]. При обнаружении аномалии система автоматически генерирует предупреждение диспетчеру, записывает событие в журнал с видеофиксацией и может инициировать защитные мероприятия – вплоть до снижения уровня водохранилища или остановки гидроагрегатов.

4. Устойчивость к неблагоприятным погодным условиям. Стационарные камеры в защитных термокожухах с обогревом, системой омывания стекла и вентиляцией продолжают работать при сильном ветре, дожде, снегопаде и тумане, в условиях, когда полеты беспилотников невозможны.

2.3. Недостатки стационарных камер

1. Наличие «мертвых зон» и ограниченный угол обзора. Каждая камера охватывает только определенный сектор пространства, ограниченный полем зрения объектива. Для полного покрытия крупного ГТС требуются десятки или сотни камер, и даже в этом случае остаются участки, недоступные для наблюдения: ниши, углубления, обратные стороны пилонов, зоны затенения [3]. Перекомпоновка системы при изменении требований крайне затратна и требует повторного монтажа.

2. Высокая стоимость инфраструктуры. Прокладка кабельных трасс (электропитание и передача данных) по бетонным конструкциям плотины – сложная инженерная задача, требующая бурения каналов или монтажа защитных коробов [1]. Установка оборудования на крутых наклонных поверхностях напорной грани требует привлечения промышленных альпинистов и специальной техники. Совокупные затраты на развертывание системы из 50-100 камер могут составлять десятки миллионов рублей.

3. Сложность оперативной замены оборудования. В период паводка, когда водосбросы работают на полную мощность с колоссальным расходом воды, доступ к камерам, установленным вблизи водобойных сооружений, практически невозможен из-за сплошной водяной завесы и опасности для персонала. Выход из строя камеры в критической зоне означает потерю данных на недели или даже месяцы, пока не спадет уровень воды и не появится возможность проведения ремонтных работ.

3. Использование беспилотных дронов (БПЛА)

3.1. Технологическая основа

Для мониторинга гидротехнических сооружений применяются беспилотные летательные аппараты двух основных типов: квадрокоптеры для детального обследования локальных участков с возможностью зависания и БПЛА самолетного типа для съемки протяженных объектов: дамб обвалования, береговой линии водохранилищ протяженностью в десятки километров. Ключевым требованием является наличие системы высокоточного позиционирования RTK (Real-Time Kinematic), обеспечивающей определение координат с сантиметровой точностью в реальном времени, что критично для фотограмметрических измерений и повторяемости маршрутов.

Полезная нагрузка дронов включает камеры высокого разрешения для визуального осмотра, тепловизоры для выявления фильтрации и температурных аномалий, лидары (лазерные сканеры) для построения точных цифровых моделей рельефа, а также мультиспектральные сенсоры для анализа состояния растительности на откосах земляных плотин.

3.2. Преимущества беспилотных дронов

1. Мобильность и полный охват труднодоступных зон. Дрон способен подлететь к любой точке сооружения: обследовать вертикальную напорную грань плотины высотой в сотни метров, заглянуть в водобойный колодец с безопасного расстояния, пролететь вдоль подводящего канала на малой высоте. На мелководье специализированные аппараты с поляризационными фильтрами позволяют анализировать состояние дна водохранилища через водную толщу, выявляя зоны размыва и отложения наносов.

2. Быстрое создание ортофотопланов и 3D-моделей. За один полет продолжительностью 30-40 минут дрон собирает сотни фотографий с перекрытием 70-80%, которые затем обрабатываются программным обеспечением фотограмметрии (Agisoft Metashape, Pix4D, DJI Terra). В результате создаются геопривязанные ортофотопланы (изображения без перспективных искажений) и детальные трехмерные модели поверхности с разрешением до 1 см/пиксель и точностью в плане до 2-3 см.

3. Возможность смены полезной нагрузки под задачу. В отличие от стационарной камеры с фиксированными характеристиками, дрон – это универсальная платформа-носитель. Для планового визуального осмотра устанавливается оптическая камера с увеличением, для поиска фильтрации – радиометрический тепловизор, для точных геодезических измерений – лидар с плотностью до 300 точек на квадратный метр. Появление новых типов сенсоров не требует замены всей системы.

4. Оперативность развертывания при чрезвычайных ситуациях. После землетрясения, схода селя, прорыва верховой дамбы или резкого подъема уровня воды дрон может быть запущен в течение нескольких минут и предоставить оперативную визуальную информацию о состоянии сооружения еще до того, как на объект прибудет инспекционная группа. Это критически важно для принятия решений об эвакуации населения нижнего бьефа и координации аварийных служб.

3.3. Недостатки пилотируемых дронов

1. Зависимость от метеорологических условий. Большинство коммерческих дронов профессионального класса не могут выполнять полеты при скорости ветра свыше 10-12 м/с и во время осадков средней и высокой интенсивности [4]. На крупных водохранилищах, где формируется собственный микроклимат с усилением ветра над водной поверхностью, количество «летных» дней в году может быть существенно ограничено. Парадоксально, но именно в период паводка, когда мониторинг наиболее востребован, погодные условия часто препятствуют полетам.

2. Ограниченное время полета. Современные квадрокоптеры профессионального класса способны находиться в воздухе 30-45 минут на одном комплекте литий-полимерных батарей. Для полного обследования крупного ГТС требуется многократная смена аккумуляторов с перерывами на их зарядку, что увеличивает общее время работ и создает паузы в сборе данных. Зимой при отрицательных температурах время полета сокращается дополнительно на 20-30% из-за снижения емкости батарей.

3. Регуляторные ограничения и необходимость согласований. Гидротехнические сооружения, особенно крупные ГЭС и плотины, часто имеют статус стратегических объектов критической инфраструктуры с особым режимом охраны. Полеты БПЛА в таких зонах требуют получения разрешений от множества инстанций: администрации объекта, региональных органов, Росавиации. На приграничных реках добавляются согласования с ФСБ.

4. Сравнительная таблица

Критерий сравнения	Стационарные камеры	Пилотируемые дроны
Точность измерений деформаций	0,1-0,3 мм (субмиллиметровая при использовании марок-мишеней)	1-5 мм (зависит от высоты полета и RTK-привязки)
Частота сбора данных	Непрерывно, 24/7, с любой заданной периодичностью кадров	Периодически: плановые облеты 1-4 раза в год + экстренные вылеты

Зависимость от погоды	Минимальная (работа при ветре, дожде, тумане)	Высокая (ограничения по ветру >10 м/с, осадкам)
Себестоимость часа мониторинга	Низкая после развертывания (электричество, интернет)	Высокая (амортизация БПЛА, расходники)
Охват территории	Ограничен точками установки, наличие «мертвых зон»	Полный охват любых доступных по воздуху участков

5. Синергия и гибридный подход

Проведенный сравнительный анализ убедительно показывает, что стационарные камеры и пилотируемые дроны не являются конкурирующими технологиями, а представляют собой взаимодополняющие инструменты, и максимальная эффективность системы мониторинга достигается при их совместном интегрированном применении.

Оптимальная модель организации мониторинга ГТС предполагает следующее распределение функций: стационарные камеры устанавливаются в критических зонах, где требуется непрерывный круглосуточный контроль – на гребне плотины, в машинном зале, у оснований водосбросов, в галереях и смотровых шахтах. Они обеспечивают постоянный поток данных для предиктивной аналитики, раннего обнаружения аномалий и мгновенную реакцию на возникающие отклонения от нормы. Пилотируемые дроны используются для плановых детальных обследований с периодичностью один раз в квартал или при сезонной смене режимов эксплуатации (перед паводком, после прохождения паводка, перед ледоставом, после схода льда). Дроны также являются незаменимым инструментом первого реагирования при чрезвычайных ситуациях, когда требуется экстренная визуальная оценка состояния всего сооружения и прилегающей территории.

Такой гибридный подход позволяет сочетать непрерывность мониторинга стационарных систем с гибкостью, мобильностью и полнотой охвата беспилотников. Данные из обоих источников интегрируются в единую информационную модель (BIM/ЦИМ – цифровую информационную модель) гидротехнического сооружения, формируя полную картину его текущего технического состояния и истории изменений во времени.

Перспективным направлением развития является внедрение автономных дронопортов (системы Drone-in-a-box) – самодостаточных станций базирования, размещаемых на крышах машинных залов ГЭС, в специальных укрытиях на гребне плотины или на береговой инфраструктуре. Такие системы способны автоматически запускать дрон по заданному расписанию или по команде от системы мониторинга, выполнять заранее запрограммированный маршрут облета, возвращать аппарат в защищенный ангар для автоматической зарядки и передавать собранные данные на сервер обработки – всё это без участия обслуживающего персонала.

Интеграция технологий компьютерного зрения как стационарного, так и мобильного с современными алгоритмами искусственного интеллекта открывает новую эру в обеспечении безопасности гидротехнических сооружений. Автоматизированный анализ терабайтов визуальных данных позволяет выявлять дефекты на самых ранних стадиях развития, прогнозировать их эволюцию и принимать превентивные меры задолго до наступления критического состояния. В конечном счёте это защищает жизни миллионов людей, проживающих в нижнем бьефе крупных гидроузлов, и обеспечивает надежную работу объектов энергетической инфраструктуры страны.

Библиографический список

1. Беллендир, Е. Н. Натурные наблюдения и исследования гидротехнических сооружений/Е. Н. Беллендир, М. И. Иващенко, Л. Н. Рассказов. – Санкт-Петербург: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2019. – 472 с. – ISBN 978-5-907040-31-6.
2. Николенко, С. И. Глубокое обучение : погружение в мир нейронных сетей / С. И. Николенко, А. А. Кадурин, Е. О. Архангельская. – 2-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2020. – 480 с. – (Библиотека программиста). – ISBN 978-5-4461-1537-2.
3. Болотин, С. А. Автоматизированные системы видеонаблюдения и контроля доступа на объектах энергетики С. А. Болотин, А. К. Погорелов// Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 72-79. – DOI: 10.17213/0136-3360-2021-5-72-79.
4. Сычёв, И. В. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга гидротехнических сооружений / И. В. Сычёв, Д. А. Козлов, А. М. Тищенко // Гидротехническое строительство. 2023. – № 6. – С. 32-39. – DOI: 10.34831/EP.2023.22.87.005.

УДК 502/504: 626/627

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КИТАЯ И РОССИИ

***Садова Владлена Анатольевна**, студентка 1 курса магистратуры института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, vkamushkina22@mail.ru*

***Научный руководитель: Жукова Татьяна Юрьевна**, к.т.н., старший преподаватель кафедры гидротехнических сооружений, института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, t.zhukova@rgau-msha.ru*

***Аннотация**. Статья посвящена системам и механизмам, обеспечивающие развитие и внедрение возобновляемых источников энергии в двух странах, а так же анализ стратегий, политик и видов энергии, используемых в Китае и России.*

***Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, возобновляемые источники энергии, гидроэнергетика, развитие, экология.*

В последние десятилетия мир сталкивается с острыми вызовами, связанными с изменением климата, истощением природных ресурсов и ухудшением экологической ситуации. Эти проблемы требуют от стран мира поиска устойчивых решений в области энергетики, что приводит к росту интереса к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). ВИЭ, такие как солнечная, ветровая, гидро- и биомассовая энергия, становятся важным элементом энергетической стратегии многих государств, включая Китай и Россию. Эти две страны, обладая значительными природными ресурсами и развитыми промышленными секторами, занимают ключевые позиции в глобальном энергетическом ландшафте [1,2].

Китай, как одна из ведущих экономик мира, активно стремится к развитию и внедрению возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в свою энергетическую систему. В последние несколько десятилетий страна столкнулась с серьезными экологическими и энергетическими проблемами, связанными с быстрым экономическим ростом и увеличением потребления ископаемых видов топлива.

Китай занимает лидирующие позиции в мире по производству и потреблению возобновляемой энергии. По данным Международного энергетического агентства (IEA), в 2022 году более 40% мирового производства солнечной энергии приходилось на Китай. Страна также является крупнейшим производителем ветряных турбин и гидроэлектростанций. В 2021 году общая установленная мощность ветряных электростанций в Китае превысила 300

ГВт, что составляет более 35% от мирового объема. Гидроэнергетика также занимает ключевую роль в китайской энергетической системе, с крупнейшей в мире гидроэлектростанцией «Три ущелья», установленной на реке Янцзы, мощностью около 22,5 ГВт.



Рис. 1 Гидроэлектростанцией «Три ущелья» в Китае.

Одной из основных причин такого стремительного роста возобновляемых источников энергии в Китае является необходимость снижения зависимости от угля, который все еще составляет более 50% в структуре энергетического баланса страны. Угольная энергетика, несмотря на свою дешевизну, является основным источником загрязнения воздуха и углеродных выбросов, что негативно сказывается на здоровье населения и экологии в целом. В ответ на эти вызовы китайское правительство разработало ряд программ и стратегий, направленных на поддержку и развитие ВИЭ.

Солнечная энергия в Китае развивается с огромными темпами благодаря как государственной поддержке, так и частным инвестициям. Страна стала мировым лидером по производству солнечных панелей, а также по установленной мощности солнечных электростанций. В 2021 году установленная мощность солнечной энергетики в Китае достигла 300 ГВт, что составляет более 30% от общего объема установленной мощности в мире.

Ветровая энергия также занимает важное место в энергетической стратегии Китая. Страна активно развивает как наземные, так и морские ветряные электростанции. По состоянию на 2022 год, установленная мощность ветряных электростанций в Китае превысила 300 ГВт, что делает Китай крупнейшим рынком для ветровой энергетики в мире. Крупнейшие китайские производители ветряных турбин, такие как Goldwind и Sinovel, активно конкурируют на международной арене, что способствует росту экспортных возможностей и развитию технологий.

Гидроэнергетика, как уже упоминалось, играет ключевую роль в энергетическом балансе Китая. Страна обладает значительным гидроресурсным потенциалом, который еще не полностью освоен. Крупнейшая в мире гидроэлектростанция «Три ущелья» имеет мощность 22,5 ГВт и обеспечивает значительную долю электроэнергии для центральных и южных регионов страны. Однако развитие гидроэнергетики также связано с экологическими и социальными проблемами, такими как переселение местного населения и воздействие на экосистемы рек [3].

Биомасса и геотермальная энергия также становятся все более актуальными источниками возобновляемой энергии в Китае. Использование биомассы для производства электроэнергии и биотоплива активно поддерживается на уровне местных и региональных властей, что способствует развитию сельских районов и созданию рабочих мест. Геотермальная энергия, хотя и менее распространенная, также имеет потенциал для использования в системах отопления и горячего водоснабжения, особенно в северных и западных регионах страны, где климатические условия способствуют ее эффективному применению.

Несмотря на значительные успехи в развитии возобновляемых источников энергии, Китай сталкивается с рядом вызовов и проблем. Во-первых, интеграция ВИЭ в существующую энергетическую систему требует значительных инвестиций в модернизацию инфраструктуры, включая сети передачи и распределения электроэнергии. Одной из ключевых проблем является дисбаланс между производством и потреблением, так как возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая, зависят от погодных условий и могут не обеспечивать стабильное энергоснабжение.

Состояние возобновляемых источников энергии в России представляет собой многогранную и динамично развивающуюся область, которая в последние годы привлекает все большее внимание как со стороны государственных структур, так и со стороны частного сектора. Россия, обладая обширными природными ресурсами, имеет значительный потенциал для развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия, биомасса и геотермальная энергия. Тем не менее, использование этих ресурсов в стране остается на относительно низком уровне по сравнению с традиционными источниками энергии, такими как нефть, газ и уголь.

На сегодняшний день Россия занимает одно из ведущих мест в мире по запасам углеводородов, что, безусловно, оказывает влияние на развитие возобновляемой энергетики. Однако в последние годы наблюдается тенденция к увеличению интереса к ВИЭ, что связано как с глобальными изменениями климата, так и с необходимостью диверсификации энергетического баланса страны. В частности, в рамках международных обязательств по сокращению выбросов парниковых газов Россия начала активнее рассматривать возможности использования возобновляемых источников энергии [4].

Солнечная энергия в России имеет значительный потенциал, особенно в южных регионах страны, таких как Краснодарский край, Ставропольский край и Республика Калмыкия. В этих областях солнечная радиация достигает высоких значений, что делает их привлекательными для установки солнечных панелей. Несмотря на это, развитие солнечной энергетики в России сталкивается с рядом проблем, включая высокие капитальные затраты на установку солнечных электростанций и недостаточную инфраструктуру для подключения к электросетям.

Ветровая энергия также представляет собой важный компонент возобновляемой энергетики в России. Страна обладает значительными ветровыми ресурсами, особенно в северных и восточных регионах, таких как Мурманская область, Республика Саха (Якутия) и Чукотский автономный округ. В последние годы в России были реализованы несколько крупных проектов по строительству ветровых электростанций, которые продемонстрировали свою эффективность и экономическую целесообразность [5].

Гидроэнергетика является одной из наиболее развитых форм возобновляемых источников энергии в России. Страна обладает огромным гидроресурсным потенциалом, и на сегодняшний день гидроэлектростанции обеспечивают значительную долю выработки электроэнергии в стране. Крупнейшие гидроэлектростанции, такие как Братская, Саяно-Шушенская и Красноярская, играют ключевую роль в энергетическом балансе России.

Биомасса и биогаз являются еще одной важной составляющей возобновляемой энергетики в России. Страна обладает значительными ресурсами биомассы, включая сельскохозяйственные отходы, древесину и органические отходы. Использование биомассы для производства энергии может способствовать решению проблем утилизации отходов и сокращению выбросов парниковых газов. В последние годы в России наблюдается рост числа проектов по производству биогаза и биомассы, что свидетельствует о растущем интересе к этой области.

Геотермальная энергия, хотя и менее развита в России по сравнению с другими видами ВИЭ, также имеет свои перспективы. Наиболее значительные геотермальные ресурсы сосредоточены в Камчатском крае и на Курильских островах. Использование геотермальной энергии может стать важным источником тепла и электроэнергии для удаленных и

труднодоступных регионов, где традиционные источники энергии могут быть недостаточно эффективными.

Несмотря на наличие значительных ресурсов и потенциальные возможности для развития возобновляемых источников энергии, Россия сталкивается с рядом проблем, которые препятствуют их широкому внедрению. Одной из основных проблем является недостаток государственной поддержки и инвестиций в сектор ВИЭ.

Кроме того, важным аспектом является необходимость в развитии инфраструктуры для подключения возобновляемых источников энергии к электросетям. В некоторых регионах страны отсутствует необходимая инфраструктура, что затрудняет реализацию проектов в области ВИЭ.

В заключение, состояние возобновляемых источников энергии в России можно охарактеризовать как потенциально многообещающее, но в то же время сталкивающееся с рядом серьезных вызовов. Россия обладает значительными ресурсами для развития ВИЭ, однако для их реализации необходимо преодолеть существующие барьеры и создать более благоприятные условия для инвестиций и внедрения новых технологий. Китай демонстрирует впечатляющие успехи в области возобновляемых источников энергии, стремясь к достижению устойчивого энергетического будущего. Страна активно развивает солнечную, ветровую, гидро- и биомассу, что способствует снижению зависимости от ископаемых видов топлива и уменьшению углеродных выбросов.

Библиографический список

1. Жукова Т.Ю., Бакштанин А.М. Инженерно-экологические аспекты строительства объектов природообустройства. Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройтсва // В книге материалы III междунар. науч.-практ. конф. ф.-та землеустройства и кадастров ВГАУ, 2021.С.172-179.
2. Акулова А. Ш., Острина Е. М. Перспективы развития возобновляемой энергетики в Китае // Инновационная наука. 2020.
3. Бакштанин А.М. Расчет основных энергетических и конструктивных параметров ветроэлектрической установки: учебное пособие / А.М. Бакштанин, Т.И Матвеева, С.А. Соколова. – Москва: ООО «Мегаполис», 2020.
4. Елисеева Е. Н., Сероокий В. Г. Использование нетрадиционных (возобновляемых) источников энергии в России и в мире: ключевые тенденции и перспективы // Вестник евразийской науки. – 2020.
5. Козырева Е. Н. Сравнительный анализ доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе России и Китая: перспективы инвестиций в зеленую энергетику // Парадигма. – 2025.

УДК 626.627

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВОДОПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Старовойтов Александр Борисович, *аспирант кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, mr.starovoitov2015@bk.ru*
Фартуков Василий Александрович, *доцент кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, fartukov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В статье представлена упрощённая и практико-ориентированная методика разработки цифрового двойника водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин, шлюзов, дамб). Методика нацелена на инженеров-гидротехников и эксплуатационный персонал, не требующая глубоких знаний в программировании. Особое внимание уделено модульности, прозрачности процессов и возможности постепенного*

внедрения. В результате применения предложенного подхода создаётся рабочая модель, способная отображать текущее состояние сооружения, фиксировать отклонения от нормы и помогать в планировании ремонтов.

Ключевые слова: *цифровой двойник, водоподпорные сооружения, мониторинг, 3D-модель, датчики, гидротехника, методика.*

Цифровой двойник водоподпорного сооружения – это виртуальная копия реального объекта, которая обновляется данными с датчиков и позволяет заранее видеть возможные проблемы. Такие системы уже доказали свою пользу при контроле фильтров, отслеживании деформаций и оценке устойчивости конструкций. Однако на практике многие методики остаются слишком сложными для рядовых инженеров. В данной работе предлагается упрощённый, но научно обоснованный алгоритм создания цифрового двойника, адаптированный для российских условий эксплуатации ГТС [1-6].

Предлагаемый подход разбит на шесть логических этапов. Каждый из них можно выполнять независимо, что позволяет внедрять систему постепенно, без остановки работы сооружения.

1. Сбор исходной информации

На этом этапе формируем «историю» объекта: собираем проектные чертежи, отчёты по обследованиям, данные прошлых ремонтов, фотографии и результаты прошлых замеров. Важно не только оцифровать документы, но и привести их к единому формату и проверить на противоречия.

2. Построение геометрической 3D-модели

На основе собранных данных создаём точную пространственную модель. Если есть лазерные сканы или дроновые съёмки – используем их. В модель обязательно закладываем информацию о материалах (бетон, грунт, металл) и границах слоёв. Это «тело» будущего двойника.

3. Организация сбора данных в реальном времени

Подбираем и устанавливаем датчики: уровневые, пьезометрические, тензометрические, вибродатчики. Данные передаются по защищённой сети в единый центр. Важно настроить частоту опроса и резервные каналы связи, чтобы не терять информацию при авариях.

4. Настройка расчётной логики

К 3D-модели «подключаем» упрощённые инженерные расчёты: распределение напора, скорость фильтрации, допустимые деформации. Расчёты строятся на нормативных формулах и калибруются под конкретный объект. Программный код можно писать на простых языках (Python) или использовать готовые инженерные пакеты с визуальным интерфейсом.

5. Проверка и калибровка

Сравниваем показания модели с реальными замерами за последние 1–2 года. Если разница превышает допустимый порог (обычно 5–10%), корректируем параметры материалов или граничные условия. После достижения совпадения система считается готовой к промышленному использованию.

6. Запуск и обучение персонала

Разворачиваем веб-интерфейс, настраиваем оповещения (например, «уровень воды превысил отметку X»), проводим обучение диспетчеров и инженеров. На этом этапе важно закрепить регламенты: кто, когда и как реагирует на сигналы двойника.

Для наглядного этапы сведены в (таблица 1).

Таблица 1

Этапы и результаты создания методики цифрового двойника

1. Сбор информации	Формирование Базы знаний об объекте	Проекты, отчёты, фото, история ремонтов	Структури-рованный каталог документов	Excel, Яндекс.Диск, Nextcloud

2. 3D-моделирование	Создание точной пространственной копии	Чертежи, лазерные сканы, обмеры	Готовая геометрическая модель с материалами	Revit, AutoCAD, Blender, MeshLab
3. Датчики и связь	Сбор показаний в реальном времени	Выбор точек контроля, типы датчиков	Поток данных с объекта	Modbus, MQTT, SCADA-системы
4. Расчёты и логика	Прогноз поведения сооружения	Нормативы, формулы, история наблюдений	Рабочая математическая модель	Python, Excel, OpenModelica
5. Проверка	Сравнение модели с реальностью	Архивные замеры, данные датчиков	Откалиброванная система	Grafana, Jupyter Notebook
6. Запуск	Внедрение и обучение	Инструкции, права доступа, регламенты	Готовый к эксплуатации цифровой двойник	Веб-панель, Telegram-боты, регламенты

Предложенная методика позволяет создать работоспособный цифровой двойник водоподпорного сооружения без привлечения узких IT-специалистов. Ключевые принципы: модульность, прозрачность расчётов и обязательная калибровка под реальные данные. В перспективе систему можно дополнять алгоритмами прогнозирования износа и автоматическими рекомендациями по ремонту, но даже в базовом виде она уже снижает риски аварий и упрощает планирование обслуживания. Дальнейшие исследования будут направлены на стандартизацию форматов обмена данными и разработку открытых шаблонов для типовых ГТС.

Библиографический список

1. Дробаденко, В. П. Гидротехнические сооружения при открытой геотехнологии : учебник / В. П. Дробаденко, В. Е. Кисляков, О. А. Луконина. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-4355-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/122147

2. Ткачев, А. А. Гидротехнические сооружения : учебное пособие / А. А. Ткачев. — Новочеркасск : Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ, 2019. — 178 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/134788

3. Чудновский, С. М. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений : учебное пособие / С. М. Чудновский. — 2-е изд. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 148 с. — ISBN 978-5-9729-0318-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/124655

4. Сапцин, В. П. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений : учебное пособие / В. П. Сапцин. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. — 148 с. — ISBN 978-5-8158-1632-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/90182

5. Эксплуатация сооружений систем инженерной защиты : учебное пособие / О. В. Михеева, Е. Н. Миркина, С. С. Орлова, Т. А. Панкова. — Саратов : Вавиловский университет, 2022. — 211 с. — ISBN 978-5-9999-3528-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/288251

6. Эксплуатационная надежность гидротехнических сооружений : учебное

пособие / Ф. К. Абдразаков, Т. А. Панкова, О. В. Михеева, С. С. Орлова. — Саратов : Вавиловский университет, 2018. — 142 с. — ISBN 978-5-9999-2968-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/137525

УДК 621.67

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ СПОСОБОМ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ

Плахтеев Дмитрий Николаевич, *аспирант кафедры Гидротехнические сооружения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, dima-p1@mail.ru*
Научный руководитель - ***Ханов Нартмир Владимирович****, доктор технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, khanov@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В статье приведен один из приёмов изменения подачи и напора насосной станции способом дросселирования, с целью ввода насоса в режим работы с максимальным КПД, при искусственно завышенном напоре насоса с одновременным снижением подачи.*

Ключевые слова: *параметры, насосное оборудование, дросселирование, трубопроводная сеть, эксплуатация, расход, напор, сопротивление.*

Проблемой путей снижения энергозатрат насосными станциями занимались многие учёные: В.Ф. Чебаевский (1960), К.П. Вишневский (1970), В.В. Рычагов, К.И. Лысов (1985), М.М. Флоринский (1975), Г.Е. Мускевич (1980), Д.С. Бегляров (2005), С.А. Тарасьянц (2023) и др. Работы учёных были направлены в основном на регулирование параметров (напора, подачи, допустимой вакуумметрической высоты всасывания, КПД) известными параметрами обрезки диаметра рабочего колеса, параллельным и последовательным включением насосных агрегатов, изменением частоты вращения приводных двигателей, которые использовались перед установкой насосных агрегатов. Приемы изменения параметров в процессе эксплуатации, в связи с изменением характеристики сетей практически не изучены, в связи с чем, проведение исследований, направленных на разработку устройств для повышения КПД насосных установок, при изменении гидравлических параметров эксплуатируемой сети, не разработанных в достаточной степени, является актуальной задачей.

При необходимости изменения подачи и напора насосной станции, изменяют характеристику насоса или гидравлические параметры трубопроводной сети. В настоящее время изменение параметров насосного оборудования проводят разными способами, задвижкой на напорном трубопроводе – дросселированием, обрезкой диаметра рабочего колеса и инверторным способом – изменением частоты вращения приводного двигателя. Регулирование подачи способом дросселирования проводится с целью ввода насоса в оптимальный режим – режим с максимальным КПД, при этом искусственно завышают напор насоса при одновременном снижении подачи. Долю мощности затраченной как на подъём воды, так и дросселирование определить сложно из-за отсутствия точных данных по гидравлическим параметрам трубопроводной сети. По предварительным расчётам из-за повышения напора на насосных станциях израсходовано на дросселирование до 20% установленной мощности [1,2].

При работе насосной станции, фактические параметры с данной трубопроводной сетью определяются следующим образом; для примера рассматривается случай эксплуатации разводящей сети и насосной станции с тремя насосными агрегатами D 1250-125 (рисунок 1), расход каждого 330 л/с, напор 125 м, приводится порядок построения кривых потерь напора в

трубопроводах сети и определение фактических рабочих параметров одного насосного агрегата, подбор диаметра рабочего колеса насоса под необходимые параметры [3,4].

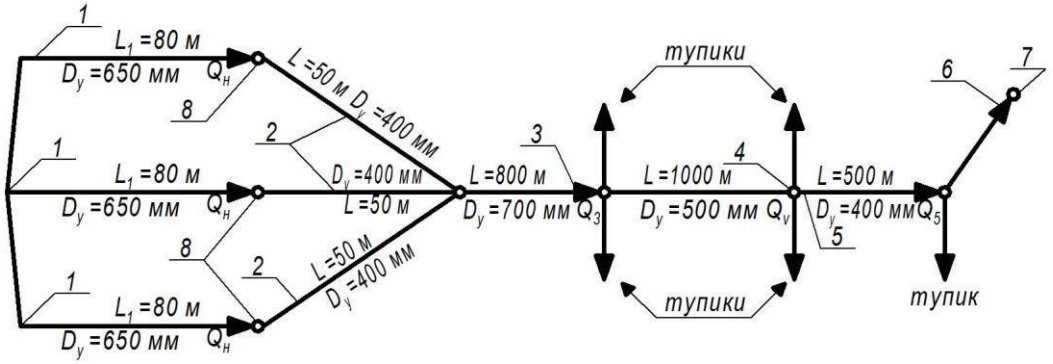


Рис. 1 – Работа насосной станции с тремя насосными агрегатами D 1250-125 и разводящей сетью

1 – всасывающие трубопроводы; 2 – напорные трубопроводы; 3 –магистральный трубопровод; 4, 5, 6 – участки сети с изменившимся расходом.

Для построения кривых потерь напора в трубопроводе, которые необходимы при определении фактических параметров насосных агрегатов, используют следующие приёмы [5,6]:

1. Сеть до расчётного гидранта 7 разбивают на участки, 1-й - всасывающие трубопроводы, 2-й напорный распределительный трубопровод, 3-й магистральный напорный трубопровод, 4-й, 5-й, 6-й – участки с изменившимся расходом, независимо от количества включенных насосов;

2. На каждом участке определяют удельное сопротивление S_i (таблица 1)

Таблица 1

Удельные сопротивления участков с²/м⁵

Участки	Диаметр, м	Площадь поперечного сечения, м²	Длина, м	Удельное сопротивление $S_i = \lambda \frac{L_i}{D_i 2g\omega^2}$, с²/м⁵
1	0,65	0,33	80	1,15
2	0,40	0,125	50	8,15
3	0,70	0,38	800	8,06
4	0,50	0,19	1000	56,47
5	0,40	0,12	500	88,48
6	0,35	0,09	500	179,47

При расчёте удельного сопротивления величина «λ» принимается равной 0,02, местные потери в расчёте не учитываются.

3. Определяют сопротивление расчётной сети $S_{сети}$ при работающих одном, двух и трёх насосах по зависимости:

$$S_{сети} = \sum S_i * K_i \,, \qquad (1)$$

где: S_i – удельное сопротивление участка;

K_i – коэффициент, равный отношению квадрата расхода на участке к квадрату суммарного расхода насосной станции.

4. Определяют потери напора

$$h_w = S_{сети} \cdot Q^2 \qquad (2)$$

где: $S_{сети}$ – сопротивление расчётной сети;

Q^2 – подача $м^3/с$.

5. Строится кривая потерь напора, полученные на кривой рабочие точки будут показывать параметры работы одного насоса при работе 1-го, 2-х и 3-х насосов.

Полученные фактические параметры будут соответствовать совершенно определенным значениям КПД и в случае необходимости его увеличения, кривую потерь необходимо будет перестраивать при одновременном дросселировании, что сказывается на непроизводительных потерях энергии.

В вышеприведенном случае, в литературных источниках [2] рекомендуют при необходимом расходе 1-го насоса 0,25 $м^3/с$, а фактически полученном при работе 3-х насосов 0,32 $м^3/с$, регулирование производить обрезкой диаметра рабочего колеса.

Результаты проведённого анализа показывают, что оптимальное потребление электроэнергии зависит от напора в трубопроводной сети как в целом, так и при различных вариантах установки дождевальной техники.

Регулирование параметров насосного оборудования методом дросселирования необходимо экономически обосновывать, а в некоторых случаях данный способ желательно не использовать из-за резкого увеличения потребляемого тока на приводных двигателях.

Библиографический список

1. Анализ и учёт особенностей структуры напорных систем водоснабжения при расчете переходных процессов / Д.С. Бегляров, Э.Е. Назаркин, А.М. Бакштанин // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 91-94.
2. Гидромеханическое оборудование систем мелиорации водоснабжения энергетических предприятий: монография / Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц В.Н. Ширяев; Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2023. –176 с.
3. Методы уменьшения потребляемой энергии мелиоративными насосными станциями / Ю.С. Уржумова, Д.В. Николаенко, В.Б. Панов, С.А. Тарасьянц // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. №3(67). С. 566-574
4. Особенности работы насосных станций на закрытых оросительных системах / Д. С. Бегляров, Ю. И. Сухарев, М. С. Али, Э. Е. Назаркин // Научная жизнь. 2021. Т. 16, № 5(117). С. 538–553
5. Расчётно-теоретические исследования автоматического пуска основного насосного агрегата на насосной станции Комсомольской оросительной системы / Д.С. Бегляров, Д.Ш. Апресян. // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 69-73.
6. Технические решения использования жидкостных струйных аппаратов в гидромеханическом оборудовании, орошении, гидромеханизации: монография / Ю.С. Уржумова; Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2025 г. - 203 с.

УДК 628.11

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ОГОЛОВКА РУСЛОВОГО ВОДОЗАБОРА В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Обухов Владимир Александрович, *магистр, кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Научный руководитель - ***Али Мунзер Сулейман,*** *к.т.н. доцент кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, viv@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Эффективное использование поверхностных водоисточников представляет собой одну из наиболее сложных проблем в области водопользования, охватывающую технические, экономические и экологические аспекты. Для удовлетворения потребностей в воде на поверхностных источниках создаются специальные сооружения для забора воды. Эти сооружения должны гарантировать надёжную подачу расчётного объёма воды потребителям, а также соответствовать установленным требованиям к её качеству. В данной работе проводится разработка более экономичного водозаборного узла и обоснование его оптимальных параметров.*

Ключевые слова: *Водозабор, насосная станция, водоисточник, Береговой водозабор, приемная камера, всасывающая камера.*

Проектирование водозаборных сооружений должно обеспечивать бесперебойную подачу воды даже при самых неблагоприятных условиях. Вид водоисточника и условия забора воды напрямую влияют на выбор типа водозабора. Такие сооружения оснащаются системой защиты от различных негативных факторов, которые могут нанести вред как самому водозабору, так и другим элементам системы водоснабжения. К таким факторам относятся крупный и мелкий мусор, лед, наносы, водоросли и представители водной фауны. Однако загрязнения, особенно бактериальные, неизбежно возникают в процессе эксплуатации.

Водозаборные сооружения следует размещать в местах, где возможно создание зоны санитарной охраны. Для систем питьевого водоснабжения водозабор должен располагаться выше по течению реки относительно населенных пунктов, животноводческих ферм, мест выпуска сточных вод и стоянок судов и барж. В общем, водозаборные сооружения должны находиться выше возможных источников загрязнения водоисточника. [1].

При выборе схемы водозабора одновременно определяются тип насоса (вертикальный или горизонтальный) и решается, будет ли водозабор совмещен с насосной станцией или нет.

Выбор места для водозаборного сооружения требует учета гидрогеологических и геологических условий, а также климатических особенностей региона. Важно, чтобы водоток имел достаточную глубину для обеспечения бесперебойной подачи воды. В условиях сложного рельефа и проблем с шуголедовыми явлениями оптимальным решением становится использование руслового водоприемника.

Водозаборы с русловыми водоприемниками требуют выноса водоприемника в русло водотока на определенное расстояние от водоприемного колодца и насосной станции. В таких случаях технологическая схема водозабора может быть как раздельной, так и совмещенной. [2-5]

Для забора расчетного расхода воды 0,6 м³/с планируется установка двух водозаборных оголовков, каждый из которых имеет производительность 0,3 м³/с. Оголовки оснащены фильтрами из пороэласта с гравийным заполнителем. Толщина пороэластовых панелей составляет 50 мм.

Площадь водоприемных отверстий для одного оголовка, при скорости втекания воды 0,1 м/с, необходимой для защиты рыб, определена и составляет 12,5 м².

Для равномерного забора воды на всей площади используется двухсекционный вихревой водоприемник с телескопическими камерами и постоянной щелью шириной 40 мм.

Каждая секция водоприемника состоит из четырех отрезков стальных труб диаметром 350, 400, 500 и 600 мм, соединенных эксцентричными переходами. Также в состав секций входят приемные воронки размером 1100х1500 мм каждая и опорные устройства для установки фильтрующих кассет, показаны на рисунке 1.

Вода поступает в секции и направляется к общему коллектору DN 800. К нему подключаются самотечные водоводы, изготовленные из полиэтиленовых труб питьевого качества с размерами DN 800х57,8 и длиной 43 метра.

Заполнение кассет пороэластом производится в виде плит толщиной 50 мм, внутри которых находится гравийный заполнитель фракции 12 – 16 мм. В качестве связующего

материала используется полиэтилен низкой плотности, который составляет 4 – 5% от общей массы.

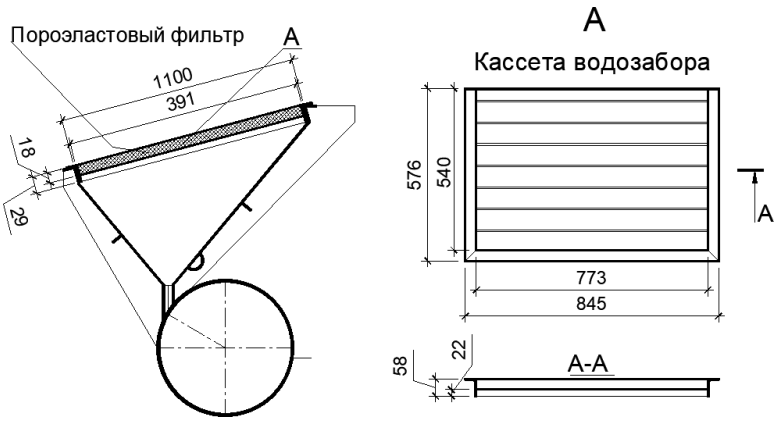


Рис. 1 Фильтрующая кассета

Для очистки фильтрующих кассет от загрязнений предусмотрена их продувка сжатым воздухом со скоростью 20 л/(с·м2) на протяжении 2 – 3 минут. Для этого на станции устанавливается компрессор с производительностью 2,0 м3/мин и давлением 10 МПа. Каждая секция оснащена отдельной трубой DN 800.

Запуск компрессора и продувка секций оголовков выполняются дежурным оператором на основе показаний датчиков уровней в водоприемном ковше и отсеках мокрой камеры насосной станции. При расходе через один оголовок 0,3 м3/с расчетный переход уровней для чистых фильтрующих элементов составляет 0,26 м.

Выводы

- Для повышения эффективности функционирования руслового водозабора необходимо учитывать не только его пропускную способность, но и стабильность работы сооружения в различные периоды года. В русловых водозаборах ключевыми проблемами являются попадание наносов, водорослей, ледовых образований и плавающего мусора, что обуславливает необходимость разработки конструкции оголовка, обеспечивающей надежный прием воды при минимальных гидравлических потерях.

- Предлагаемые варианты новой конструкции следует рассматривать как эволюцию традиционных решений для поверхностных источников водоснабжения. В частности, использование фильтрующей поверхности может обеспечить снижение скорости засорения, а внедрение самопромывного принципа позволяет уменьшить эксплуатационные затраты и оптимизировать техническое обслуживание. В промышленных условиях особую актуальность приобретает защита от загрязнений, связанных с нефтепродуктами и плавающими включениями, при этом конструкция должна сохранять технологичность в производстве, ремонтопригодность и способность функционировать при сезонных колебаниях уровня воды.

- С инженерной точки зрения важно, чтобы оголовок обеспечивал равномерное распределение водного потока к водоприемнику, предотвращая образование локальных зон заиливания. Это способствует повышению надежности функционирования всей системы водоснабжения и увеличению срока службы насосного оборудования.

Библиографический список

1. СП 517.1325800.2022. Эксплуатация централизованных систем, сооружений водоснабжения и водоотведения. Введ. 2022-01-01. М.: Минстрой России, 2022.

2. Бахметьев А. В. Водозаборные сооружения из подземных источников: учебное пособие. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. 108 с. ISBN 978-5-7731-0858-0.

3. Терновая Л. В., Скрипник А. В. Водозаборные сооружения подземных и поверхностных вод: учебное пособие. Барнаул: АГАУ, 2025. 87 с.

4. Али М. С., Бегляров Д. С. // Насосы и насосные станции, – М.: РГАУ–МСХА, 2016. – 340 с.
5. Али М.С., Рожков А.Н. // Водозаборные сооружения поверхностных и подземных вод: Учеб. пособие. – М.: РГАУ-МСХА, 2016.– 90 с.

УДК 627.838:631.6

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТРАНЗИТНОЙ ЧАСТИ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ЧЕШУЙЧАТОГО МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВОДОСБРОСА

Ся Вэйтун, *магистр кафедры гидротехнических сооружений ИМВХиС имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 1211350371@qq.com*
Черных Ольга Николаевна*, к.т.н., доцент кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, chernih@rgau-msha.ru*

Аннотация: *в статье рассмотрено расчётное обоснование оптимизации конструкции чешуйчатого многоступенчатого водосброса низко- и средненапорных водосливных плотин для организации пропуска паводка на примере гидроузла Сюэка в Китае.*
Ключевые слова: *чешуйчатый водосброс, шероховатость, транзитная часть, водосливная плотина.*

Организация обеспечения пропуска паводковых расходов обычно снижает стоимость водоподпорного гидроузла. Сброс части паводкового расхода (или целиком) может обеспечить в водосливных грунтовых плотинах участок гребня, который вкупе с низовым откосом закреплён бетоном, полимерным покрытием, георешёткой, бентоматом, грунтоцементом и пр. материалами, что ведёт к созданию малоразмываемого и устойчивого транзитного участка водопропускного сооружения, например, как водосливная плотина Н.П. Пузыревского, построенная ещё в 1926 г. [1,2]. Она пропускала часть паводкового расхода как часть фильтрационного потока через каменную наброску, а остальную часть – путём перелива через гребень и откос. Несколько усовершенствованный тип плотины высотой 7...10 м был позже разработан Н.Н. Беляшевским. Каменная наброска была прикрыта со стороны низового откоса бетонной армированной плитой, опирающейся на массивный бетонный блок у основания низового откоса, соединённой с массивным бетонным оголовком на гребне. Грунтовая плотина, у которой низовой откос покрыт клиновидными перфорированными плитами, уложенными на обратном фильтре, был предложен П.И. Гордиенко и в дальнейшем разработан Ю.Л. Правдивцем. Имеются примеры использования крепления низового откоса водосливной грунтовой плотины габионами и с поярусным расположением полос из полиэтиленовых элементов [3].

Чешуйчатый водосброс (иногда называемый водосбросом с чешуйчатым креплением) представляет собой открытый береговой или гребневой водосброс, в котором транзитная (сопрягающая) часть выполнена из сборных железобетонных плит, уложенных внахлёст по принципу рыбьей чешуи. Такая конструкция крепления откосов и дна быстротока или многоступенчатого перепада обеспечивает повышенную устойчивость к высоким скоростям потока и интенсивному воздействию наносов, кавитации и аэрации [4,5]. Входная часть сооружения в большинстве случаев выполняется в виде обычного широкого или криволинейного (практического профиля) нерегулируемого водослива без затворов. В отличие от лабиринтного водосброса, где увеличение пропускной способности достигается за счёт зигзагообразной (лабиринтной) формы водосливной кромки в плане (что относится к входной части и является отдельной конструктивной схемой [2]), чешуйчатый водосброс характеризуется именно способом крепления транзитной части [3].

Основные конструктивные элементы чешуйчатого водосброса включают: подводящий участок (канал или подход к гребню); водосливную часть (обычно прямолинейный или слабоизогнутый фронтальный водослив); транзитную часть — быстроток или многоступенчатый перепад с креплением сборными плитами «в разбежку» (чешуйчатая укладка); водобойный колодец или гаситель энергии в нижнем бьефе (рис. 1). Преимущества чешуйчатой конструкции по сравнению с традиционным монолитным креплением или гладким быстротоком: значительное повышение сопротивления отрывающим силам и кавитационному разрушению благодаря ступенчатой поверхности и аэрации потока на стыках плит; возможность пропуска высоких удельных расходов (до 80...120 м^2/с и более) без чрезмерного заглубления водобойного колодца; снижение объёма бетона на 20...40 % за счёт применения сборных элементов заводского изготовления; упрощение ремонта и замены повреждённых плит в процессе эксплуатации; лучшая работа в условиях высокой концентрации наносов и ледохода (чешуйчатая поверхность препятствует накоплению отложений и облегчает скольжение льда); экономическая эффективность при реконструкции существующих водосбросов с недостаточной пропускной способностью.

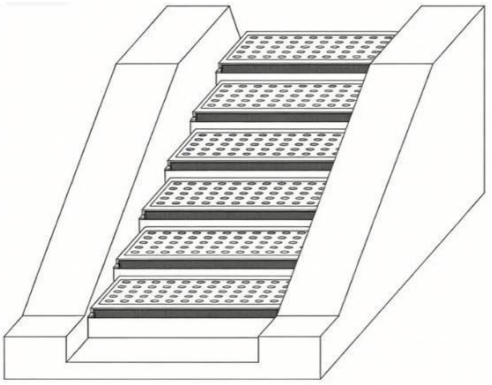


Рис. 1 План укладки сборных плит чешуйчатого крепления транзитной части для водосброса Сюэка, водохранилища Чунцзю, КНР

Чешуйчатые водосбросы особенно эффективны на средних и малых гидроузлах мелиоративного и гидроэнергетического назначения, а также при реконструкции старых грунтовых и низконапорных бетонных плотин, где требуется существенно увеличить пропускную способность без значительного повышения отметки гребня плотины.

Цель и задача работы заключаются в анализе особенностей гидравлического расчёта транзитной части нерегулируемого чешуйчатого многоступенчатого водосброса. Рассмотрим их на примере водохранилища Чунцзю, которое является частью гидроэнергетического комплекса Сюэка, расположенного в Тибетском автономном районе Китая. В состав гидроузла с высотой плотины 19,5 м входит чешуйчатый водосброс с расчётным $Q_{мак}$ = 850 м^3/с и поверочным $Q_{фор}$= 1200 м^3/с расходами.

Гидравлический расчёт чешуйчатого водосброса направлен на определение основных размеров транзитной части — быстротока или многоступенчатого перепада с креплением сборными железобетонными плитами, уложенными внахлёст по принципу рыбьей чешуи. Такие параметры выбираются исходя из заданной ширины водосброса, требуемой пропускной способности, уклона откоса и условий гашения энергии потока [4,6]. Для водосброса гидроузла Сюэка (водохранилище Чунцзю) приняты следующие исходные данные: общая ширина водосбросного фронта W = 60,0 м; уклон транзитной части (быстротока) i = 0,333 (угол наклона $\alpha \approx 18{,}4°$); высота плотины и перепад высот порядка 19,5 м (определяет общую длину тракта).

Основные геометрические параметры ступенчатого (чешуйчатого) крепления были определены по рекомендациям для stepped spillways и конструкций с чешуйчатой укладкой плит [7]: высота одной ступени (высота плиты + уступ) h; горизонтальная проекция ступени (длина по подошве) l; отношение h/l (определяет эффективность гашения энергии и аэрации);

количество ступеней N; общая длина транзитной части $L_{тр}$.= 35 м. Для обеспечения устойчивости к высоким скоростям потока и кавитации рекомендуется отношение назначать $h/l \approx 0{,}4...0{,}8$ (чаще 0,5...0,6 для мелиоративных и средненапорных сооружений). Приняты следующие параметры [4,7] для объекта исследования: выбор высоты ступени h = 3,5 м обусловлен типичными размерами сборных железобетонных плит (удобство изготовления и монтажа), а также необходимостью эффективного гашения энергии на ступенях за счёт гидравлических прыжков и аэрации на стыках плит; отношение h/l = 0,50 обеспечивает режим «nappe flow» или «skimming flow» в зависимости от расхода, что оптимально для данной высоты перепада [5].

Расчёт количества ступеней N производился по формуле:

$$N = \Delta Z / h, \qquad (1)$$

где ΔZ — вертикальный перепад по транзитной части (≈ 19,5 м минус высота водослива ≈ 3...4 м, итого ≈ 15...16 м). При h = 3,5 м и получено $N \approx 4...5$ ступеней (принято 5 для запаса).

Полученные параметры обеспечивают надёжное крепление транзитной части, повышенную устойчивость к отрывающим силам и достаточное гашение кинетической энергии потока перед водобойным колодцем в нижнем бьефе гидроузла, что подтверждено опытом эксплуатации и верифицировано экспериментальными данными [7].

При расчёте подводящего участка, обеспечивающего подачу воды к водосбросу, входящего в верхнем бьефе в состав транзитной части водохранилища Чунцзю, приняты следующие параметры подводящего канала: напор H = 2,272 м; длина L = 80 м, ширина B = 80 м, уклон дна i = 0,001. При расчётном расходе $Q_{мак}$ = 850 м³/с глубина потока в подводящем канале составляет h = 3,715 м, скорость v = 2,860 м/с, число Фруда Fr = 0,474 (спокойный поток) [7].

Расчёт расхода через чешуйчатый водосброс выполнен по формуле:

$$Q = (2/3) \cdot Cd \cdot \sqrt{(2g)} \cdot L \cdot H^{3/2} \qquad (2)$$

где Cd = 0,452 - коэффициент расхода, L - развёрнутая длина кромки, H - напор над гребнем, отношение H/p = 0,649.

Водобойный колодец в выходном оголовке водосброса чешуйчатого типа предназначен для гашения остаточной энергии потока. Для водосброса Сюэка приняты такие его размеры, обоснованные расчётом: длина L = 25 м, ширина B = 70 м, глубина относительно дна отводящего канала h = 4,0 м. В колодце образуется гидравлический прыжок, гасящий до 80% кинетической энергии потока. Отводящий канал за участком сопряжения, принимает воду после водосброса и направляет её в нижний бьеф. При этом параметры отводящего канала для водосброса Сюэка: длина $L_{ок}$ = 120 м, ширина $B_{ок}$ = 70 м, уклон дна $i_{ок}$= 0,005. При расчётном расходе глубина потока в нём $h_{ок}$ = 2,46 м, скорость v = 4,93 м/с. Расширяющийся участок отводящего канала имеет длину 30 м с углом расширения β = 9,5°.

Таким образом, результаты расчётно-аналитического исследования позволили выявить высокие эксплуатационные характеристики нерегулируемого чешуйчатого многоступенчатого водосброса повышенной устойчивости к кавитации, абразионному износу наносами и ледовым нагрузкам. При изучении конструктивных особенностей открытого чешуйчатого водосброса водохранилища Чунцзю гидроузла Сюэка подтверждено, что в пределах водобойного колодца за оптимизированным чешуйчатым водосбросом формируется гидравлический прыжок, обеспечивающий надёжное гашение до 80 % кинетической энергии потока.

Библиографический список

1. Киселёв П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В. и др. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.
2. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Свод правил. СП 290. 1325800, п. 4.11. 2016. URL: https://docs.cntd.ru/document/456074911

3. Волков В.И., Черных О.Н., Румянцев И.С., Алтунин В.И. и др. Открытые береговые водосбросы. М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. 243 с. elib.timacad.ru
4. SL 265-2016. Нормы проектирования водосбросов (Китайская Народная Республика). Пекин: Изд-во водного хозяйства Китая, 2016.
5. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Экспериментальные и аналитические исследования нагрузок на элементы крепления за водосбросами водных объектов АПК // Природообустройство. 2023. С.55-67.
6. Волков В.И., Черных О.Н. Расчёты и проектирование открытых береговых водосбросов. Учебное пособие для вузов. М.: МГУП, 2013.
7. Цянь Цзинь, Чэнь Хуа. Экологическое управление и интеллектуальная система мониторинга земляных плотин — на примере водохранилища Жао. Управление водных ресурсов провинции Шаньдун, Жао, 2023. 5с.

УДК 628.35:620.9:504.06

МЕХАНИЗМЫ МНОГОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ НЕКОНВЕНЦИОНАЛЬНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ВОДНО-ЭНЕРГЕТИКО-УГЛЕРОДНОГО НЕКСУСА: ОТ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА ДО ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

***У Цзинсюй**, магистрант, физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, wuxj@my.msu.ru*
***Ло Лянюй,** студент,Институт международного образования ПМГМУ им. И.М. Сеченова, niu985@sina.com*

***Аннотация:** В статье предложена научно-инженерная рамка многоэнергетической регенерации неконвенциональных водных ресурсов с позиций водно-энергетико-углеродного нексуса. Показано, что сочетание межфазного катализа, мембранного разделения, электрокаталитических и низкопотенциально-тепловых процессов позволяет перейти от локальной очистки к системной низкоуглеродной регенерации высокоминерализованных и трудноочищаемых вод. Сформулирована логика перехода от микромеханизмов на границе фаз к интегральной оценке жизненного цикла и инженерному выбору наилучшей технологической траектории.*

***Ключевые слова:** водно-энергетико-углеродный нексус, неконвенциональные воды, межфазный катализ, низкоуглеродная регенерация, LCA*

Дефицит пресной воды, рост энергоёмкости водоподготовки и ужесточение климатической повестки делают необходимым переход от изолированного анализа отдельных процессов к единой рамке «вода–энергия–углерод». Особенно остро эта задача проявляется для неконвенциональных водных ресурсов, к которым относятся высокоминерализованные промышленные стоки, городские регенерированные воды, концентраты мембранных систем и сложные хвостовые потоки с высокой солевой и органической нагрузкой. Для таких сред традиционная схема, ориентированная только на достижение нормативов сброса, уже недостаточна: требуется одновременно обеспечить возврат воды в оборот, снизить потребление внешней энергии, минимизировать прямой и косвенный углеродный след и по возможности извлечь полезные компоненты. Современные обзоры по водно-энергетическому нексусу показывают, что именно энергоёмкость и углеродоёмкость остаются главным ограничением масштабного внедрения новых технологий опреснения и глубокой регенерации воды [1]. Анализ водно-энергетико-углеродных синергий и компромиссов в реальных очистных системах также указывает, что рост качества очистки без одновременного учёта энергии и выбросов нередко приводит к скрытому экологическому переносу нагрузки на другие стадии жизненного цикла [2].

В этой связи перспективным является подход, в котором микромеханизмы межфазного переноса и каталитических превращений рассматриваются не как автономный научный объект, а как нижний уровень системной архитектуры регенерации. На границе «вода–материал» реализуются селективная гидратация ионов, поверхностная адсорбция, перенос заряда, локальная генерация активных форм кислорода, подавление солевого накопления и направленная реконфигурация межфазного тепломассопереноса. За счёт инженерии интерфейса возможно уменьшить энергетические потери, повысить селективность удаления загрязнителей и создать условия для совмещения мембранного разделения, фото- и электрокатализа, ёмкостного обессоливания, солнечного межфазного испарения и утилизации низкопотенциальной теплоты. Особое значение здесь приобретают современные пористые и ионно-селективные материалы, включая функционализированные мембраны, MOF-платформы, проводящие углеродные каркасы и гибридные каталитические покрытия, для которых уже показан переход от лабораторной эффективности к более реалистичным сценариям развертывания в сточных и минерализованных водах [3–5].

Системно такую установку удобно описывать через интегральный показатель многоэнергетической эффективности

$$\Phi = \alpha R_w + \beta E_{rec} - \gamma C_{net} - \delta I_{sec},$$

где R_w — степень возврата воды в оборот, E_{rec} — величина полезно возвращённой энергии или эквивалентной энергетической выгоды, C_{net} — суммарный углеродный след, а I_{sec} — вторичная экологическая нагрузка, связанная с образованием концентратов, сорбционных отходов и побочных продуктов. Коэффициенты α, β, γ и δ задаются в зависимости от приоритетов конкретного объекта: для городского регенерата доминирует водный эффект, для высокосолёных промышленных стоков — энергетико-углеродный компромисс и устойчивость к концентрированию, а для замкнутых производственных циклов — ресурсное извлечение и снижение нагрузки на последующие стадии.

На рис. 1 предложена многоуровневая схема такого подхода. Её принципиальная особенность состоит в том, что межфазное каталитическое ядро рассматривается как узел сопряжения трёх потоков: водного, энергетического и углеродного. Водный поток задаёт качество исходной среды и степень водовозврата; энергетический — конфигурацию внешних и внутренних источников энергии, включая электричество, солнечную радиацию и низкопотенциальную теплоту; углеродный — совокупность прямых выбросов, косвенных эмиссий от энергопотребления и эффектов компенсации за счёт ресурсного возврата. В отличие от линейной логики «очистка → сброс», нексусный подход переводит установку в режим динамического перераспределения потоков, где технологическая цель определяется не одной степенью извлечения соли или загрязнителя, а суммарной системой выгод и издержек.



Рис. 1. Многоуровневая рамка регенерации неконвенциональных водных ресурсов в координатах «вода–энергия–углерод»

С инженерной точки зрения наибольший интерес представляют гибридные траектории. Для высокоминерализованных стоков эффективной оказывается комбинация предварительного межфазного каталитического разрушения трудноокисляемой органики, последующего мембранного концентрирования и завершающего блока, использующего низкопотенциальную теплоту или солнечное межфазное испарение. Такой каскад снижает солеотложение и мембранное загрязнение, а затем перераспределяет энергетическую нагрузку между электрическим и тепловым каналами. Для городских и индустриальных вод конфигурации различаются, однако общий принцип сохраняется: интегральный эффект гибридов нельзя оценивать по одной метрике удаления, поскольку именно энергопотребление часто формирует основной вклад в экологический ущерб [4, 6].

С переходом к макроуровню возникает необходимость оценки жизненного цикла. Для данной задачи применима расширенная запись углеродного баланса

$$CF_{life} = \sum_{i} E_i\, EF_i + \sum_{\text{j}} M_{\text{j}}\, EF_{\text{j}} - C_{offset},$$

где E_i обозначает потребление различных видов энергии, EF_i — соответствующие коэффициенты выбросов, M_{j} — расход материалов и реагентов, EF_{j} — их удельные углеродные факторы, а C_{offset} — компенсирующий эффект за счёт возврата воды, материалов, солей, химического сырья или полезной энергии. Такая постановка позволяет сопоставлять технологические схемы не только по прямому энергопотреблению, но и по скрытым стадиям жизненного цикла: изготовлению мембран и сорбентов, регенерации материалов, обращению с концентратами и конечной утилизации. Недавние LCA-исследования показывают, что для опреснения и обработки высокосолёных потоков картина воздействия существенно меняется в зависимости от структуры энергоснабжения: переход к возобновляемой или вторичной энергии резко снижает вклад электроёмких стадий, тогда как в fossil-based сценариях даже высокоэффективные мембранные решения сохраняют заметный углеродный след [6]. Для процессов мембранной дистилляции и near-ZLD критичным остаётся происхождение низкопотенциальной теплоты [7].

На рис. 2 представлено концептуальное пространство выбора технологий в координатах «удельная энергоёмкость — углеродоёмкость жизненного цикла» с учётом относительной водоотдачи. Эта схема не подменяет детальный LCA-расчёт, но позволяет зафиксировать главное: технологически «лучший» процесс определяется не минимизацией одной оси, а поиском предпочтительной области, где обеспечиваются приемлемые затраты энергии, низкий углеродный след и высокий возврат воды. Именно поэтому межфазный катализ, гибридные мембранные маршруты и солнечно-тепловые модули следует рассматривать не как конкурирующие, а как взаимодополняющие элементы единой многоэнергетической архитектуры.

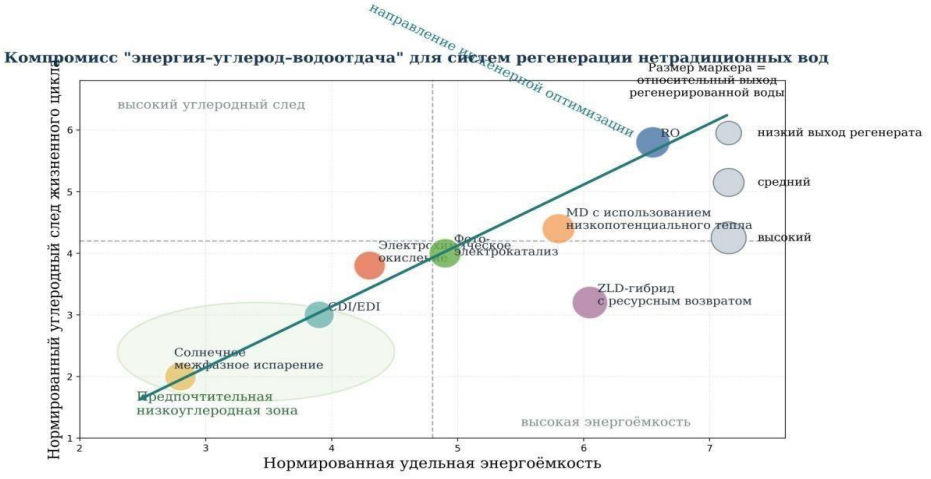


Рис. 2. Карта выбора технологий по энергоёмкости, углеродоёмкости жизненного цикла и водоотдаче

Таким образом, для неконвенциональных водных ресурсов наибольший потенциал имеет стратегия, соединяющая микромасштабную инженерию интерфейса с макромасштабной оценкой полного жизненного цикла. Её научная новизна состоит в том, что межфазные каталитические и мембранные эффекты встроены в рамку водно-энергетико-углеродного нексуса и тем самым получают системную интерпретацию. Её прикладная значимость связана с возможностью проектировать не отдельный аппарат, а целостную технологическую траекторию, в которой качество воды, энергоснабжение, углеродный след и ресурсный возврат оптимизируются совместно. Для дальнейшего развития направления необходимы унификация наборов LCA-инвентарей для сложных вод, сопоставимые протоколы учёта вторичных потоков, а также переход к цифровому сопровождению таких систем в реальном времени. В этом случае неконвенциональная вода перестаёт быть отходом высокой сложности и становится управляемым ресурсом в логике зелёного и низкоуглеродного водопользования.

Библиографический список

1. Shokri A., Sanavi Fard M. Water-energy nexus: Cutting edge water desalination technologies and hybridized renewable-assisted systems; challenges and future roadmaps // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Vol. 58. Art. 103173. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103173.

2. Ni X., Zhang Y., Li Y. et al. Water-energy-carbon synergies and trade-offs: A daily nexus analysis for wastewater treatment plants // Resources, Conservation and Recycling. 2023. Vol. 190. Art. 106830.

3. Iroegbu A.O.C., Lee J.-G., Choi J.-W. et al. Advancing wastewater treatment with green and scalable metal–organic frameworks: from synthetic strategies to real-world deployment // npj Clean Water. 2025. Vol. 8. Art. 74.

4. Gao W., Wang X., Zhao Y. et al. Comprehensive assessment of membrane technology for typical water treatment processes: A critical review // Desalination. 2025. Vol. 592. Art. 118091.

5. Peng Q., Yu J., Pang Y. et al. Prospects of advanced oxidation processes for high-salinity coking wastewater treatment: A strategy to support sustainable management // Resources, Conservation and Recycling. 2025. Vol. 214. Art. 107880. DOI: 10.1016/j.resconrec.2024.107880.

6. Fayyaz S., Ahmad A., Hashmi M.Z. et al. Life cycle assessment of reverse osmosis for high-salinity seawater desalination process: Potable and industrial water production // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 385. Art. 135704.

7. Felix V., Tow E.W., et al. Comparative life cycle assessment of membrane distillation for inland concentrate management // Journal of Cleaner Production. 2025. Vol. 511. Art. 145345.

УДК: 621.311.21:502.1(510)

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУСЛОВЫХ ГИДРОТУРБИН В РЕГИОНАХ КИТАЯ

***Фан Ли**, аспирант, КНР, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева.*
*Научный руководитель – **Фартуков Василий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, vasfar@mail.ru*

***Аннотация.** В работе представлен анализ применимости безнапорных (русловых) гидротурбин в аквальных условиях Китайской Народной Республики. Определены ключевые гидрологические параметры (индекс стабильности стока Ist) и интегральный коэффициент экологического давления Kenv, включающий оценку русловых деформаций, ихтиофауны и*

прибрежных экосистем. На основе расчётного показателя эффективности Esuit проведено ранжирование семи провинций: Чжэцзян, Гуандун, Фуцзянь, Гуйчжоу, Хубэй, Тибет (Лхаса), а также двух регионов с ограничениями — Юньнань и Сычуань. Установлено, что максимальная интегральная пригодность достигается в Тибете (Esuit = 0,72) и Чжэцзяне (0,67), минимальная — в Юньнани (0,19). Предложены типы турбин (пропеллерные, архимедов винт, горизонтально-осевые, вертикально-осевые Дарье, погружные поплавковые системы) с градацией мощности от 1 до 7 МВт. Выполнено межстрановое сопоставление с проектами в Непале, выявившее более низкие экологические риски в Китае за счёт менее крутых уклонов русел и лучшей регулируемости.

Ключевые слова: *русловые гидротурбины, малая гидроэнергетика, гидрологическая стабильность, экологическое воздействие, Китай, возобновляемая энергия.*

1. Введение

Современный вектор развития распределённой энергетики в странах со значительным речным гидропотенциалом связан с переходом от плотинных гидроэлектростанций к установкам, использующим кинетическую энергию течения без создания подпора [1, 2]. Китай, обладая разветвлённой речной сетью (бассейны Янцзы, Хуанхэ, Чжуцзян) и более чем 100 ГВт потенциала малой гидроэнергетики, сталкивается с ограничениями по экологическому регулированию строительства плотин [8, 9]. Альтернативой выступают свободно поточные (русловые) турбины — погружные или поплавковые модули мощностью до 10 МВт, оказывающие локальное воздействие на гидрологический режим [6, 7].

Обзор литературных источников показывает, что методология оценки пригодности регионов для русловых турбин разработана недостаточно. В работах [3, 4] предложены подходы к экологической оценке малых ГЭС, но без учёта гидрологической стабильности. Исследования [5, 10] акцентируют внимание на ихтиофауне, однако интегральные показатели отсутствуют. Зарубежные работы [8, 9] описывают текущее состояние гидроэнергетики Китая, но не содержат количественного ранжирования провинций.

Таким образом, **цель настоящего исследования** — количественная оценка потенциала внедрения русловых турбин в различных провинциях Китая с выработкой регионально адаптированных рекомендаций по технологиям и мерам снижения экологической нагрузки.

2. Материалы и методы

2.1. Исходные данные

В работе использованы открытые данные гидрологических постов за последние 10 лет (2014–2023 гг.) по 7 провинциям и 2 автономным регионам (Тибет, Сычуань, Юньнань, Гуйчжоу, Чжэцзян, Гуандун, Фуцзянь, Хубэй). Параметры: среднемноголетний расход *Qmean* (м³/с), минимальный расход *Qmin*, стандартное отклонение стока σQ [5]. Экологические данные получены из отчётов ихтиологических экспедиций, спутниковых снимков Sentinel-2 (мониторинг NDVI) и натурных измерений эрозии [10].

2.2. Индекс гидрологической стабильности

Стабильность водотока предложено оценивать через *Ist,* учитывающий не только отношение минимального расхода к среднему, но и коэффициент вариации [5]:

$$Ist = (Qmin / Qmean) \times [1 - (\sigma Q / Qmean)]$$

где σQ вычисляется как среднеквадратическое отклонение среднемесячных расходов за многолетний период. Диапазон *Ist* [5]:

- 0,5 — высокая стабильность;
- 0,3–0,5 — средняя;
- <0,3 — низкая.

2.3. Коэффициент экологического воздействия *K_env*

Показатель *Kenv* в диапазоне от 0 до 10 (0 — нет воздействия, 10 — критическое) представляет собой взвешенную сумму трёх субкомпонентов, адаптированную из методик [3, 4, 10]:

$Kenv = 0{,}4 \cdot Kchannel + 0{,}3 \cdot Kfish + 0{,}3 \cdot Kcoast$

где:

- *Kchannel* (0–10) — деформация русла и аккумуляция наносов [3];
- *Kfish* (0–10) — воздействие на ихтиофауну [4, 10];
- *Kcoast* (0–10) — влияние на береговые экосистемы [3].

Оценка выполнялась на основе моделирования в HEC-RAS и данных LiDAR [7].

2.4. Интегральный показатель пригодности *Esuit*

Финальная пригодность территории вычисляется как [авторская разработка на основе 1, 2]:

$Esuit = 0{,}6 \cdot I\_st - 0{,}4 \cdot (Kenv / 10)$

Пороговые значения:

- *Esuit* > 0,6 — оптимально;
- 0,4–0,6 — условно пригодно;
- <0,4 — критично (требуются ограничения мощности или дополнительные системы защиты).

3. Результаты расчётов

3.1. Гидрологическая стабильность по регионам

Наибольший *Ist* зафиксирован в Тибете (0,61) благодаря ледниково-снеговому питанию, обеспечивающему высокий минимальный расход даже в меженный период [5, 8]. Чжэцзян показал *Ist* = 0,58 за счёт муссонной цикличности при малой вариабельности стока в равнинной части. Низкая стабильность характерна для Юньнани (*Ist* = 0,19) и Сычуани (*Ist* = 0,22) из-за резкого падения уровня воды в сухой сезон (в 3–5 раз относительно средних значений) [5, 9].

3.2. Экологический риск

Минимальный коэффициент *Kenv* зафиксирован в Тибете (1,2) — слабое развитие русловых процессов, низкая плотность рыбных популяций и сохранность береговой растительности [3, 10]. В Чжэцзяне *Kenv* = 1,4 (умеренные изменения скорости течения и локальное заиление). Максимальный риск выявлен в Юньнани (*Kenv* = 5,0) и Сычуани (4,8), где высокая скорость течения (>2 м/с) приводит к деформации русел, а наличие ценных видов рыб (осетровые) усиливает вес фактора *Kfish* [4, 10].

3.3. Интегральная пригодность *Esuit*

Лидером является Тибет (*Esuit* = 0,72) — сочетание высокой гидрологической стабильности и низкого экологического ущерба [5, 10]. Вторую позицию занимает Чжэцзян (0,67). Гуандун (0,51) и Гуйчжоу (0,53) относятся к категории условно пригодных [1, 2]. Критический порог не преодолён в Юньнани (0,19) и Сычуани (0,25), что требует либо применения особо щадящих конструкций (архимедов винт, малые погружные системы), либо установки рыбозащитных экранов и систем мониторинга наносов [4, 6].

4. Обсуждение

4.1. Выбор типа турбины

На основе полученных показателей предложены следующие конфигурации [1, 2, 6]:

- **Чжэцзян**: пропеллерные турбины, 3–7 МВт — высокая стабильность позволяет использовать быстроходные горизонтальные агрегаты.
- **Гуандун**: водяное колесо, 2–5 МВт (средняя стабильность, риск аккумуляции наносов).
- **Фуцзянь, Гуйчжоу**: архимедов винт или вертикально-осевая турбина Дарье, 1–3 МВт.
- **Тибет**: горизонтально-осевые турбины, до 10 МВт (стабильный ледниковый сток, низкое экологическое воздействие).
- **Юньнань, Сычуань**: только погружные малооборотные системы мощностью не более 1 МВт с обязательной защитой от гидроабразивного износа [6, 7].

4.2. Сравнение с международным аналогом (Непал)

Сопоставление проекта в провинции Чжэцзян (пропеллерная турбина, 5 МВт) и реки Тришули в Непале (горизонтально-осевая турбина, 2 МВт) показало: гидрологическая стабильность в Китае выше (0,58 против 0,49), экологический риск ниже (1,4 против 2,1) [5, 9]. Применение в Китае турбин Alden с оптимизированной геометрией лопастей снижает смертность рыб до <5%, тогда как акустические барьеры в Непале дают 8% смертности [4, 6]. Экономический эффект в Китае превосходит непальский за счёт масштаба производства и субсидий: срок окупаемости 5 лет против 7 лет [8, 9].

4.3. Ограничения исследования

Не рассматривался фактор наледей и зимней шуги в высокоширотных участках Тибета [5]. Не выполнена оценка влияния турбин на макробеспозвоночных [3]. Требуются дополнительные натурные эксперименты по аккумуляции наносов в зоне установки архимедова винта в мутных водах Хуанхэ [7, 10].

4.4. Сравнение с существующими исследованиями

Полученные результаты согласуются с выводами [8] о высоком потенциале Тибета и Чжэцзяна, но расходятся с оценками [9] по Юньнани, где авторы ранее не учитывали высокий экологический риск. По сравнению с методиками [3, 4], предложенный интегральный показатель *Esuit* впервые объединяет гидрологическую и экологическую компоненты в одной метрике.

5. Заключение и рекомендации

На основании проведённого исследования сформулированы следующие выводы:

1. **Наиболее перспективными регионами** Китая для внедрения свободно поточных турбин являются Тибет (*E_suit* = 0,72) и Чжэцзян (0,67). В Гуандуне (0,51) и Гуйчжоу (0,53) возможна установка средней мощности (2–5 МВт) с ежегодным мониторингом деформации русла [1, 2, 8].
2. **Провинции Юньнань и Сычуань** требуют введения жёстких ограничений: мощность не более 1 МВт, обязательно применение рыбозащитных сеток и рассекателей потока [4, 6, 10].
3. **Для минимизации экологического ущерба** необходимо внедрение [3, 4, 10]:
– систем пропуска рыбы (направляющие лотки, байпасные каналы);
– датчиков мутности с обратной связью по регулированию угла атаки лопастей;
– ежегодного спутникового NDVI-мониторинга береговой зоны.
4. **Экономически целесообразно** создание кластеров из 10–15 турбин средней суммарной мощностью 30–50 МВт с единой подстанцией и системой экологического контроля [1, 8].
5. **Практическая значимость** работы заключается в разработке универсальной методики ранжирования регионов (*Ist, Kenv, Esuit*), которая может быть применена для других стран с развитой речной сетью [5, 9].

Библиографический список

1. Васильев Ю.С., Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Гидроэнергетика. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2019. — 428 с.
2. Федоров М.П., Масликов В.И. Малая гидроэнергетика: экологические аспекты и перспективы развития. — М.: Энергия, 2021. — 192 с.
3. Дегтярев В.В., Шабанов В.А. Экологическая оценка малых ГЭС в бассейне реки Амур // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2022. — № 4. — С. 56–73.
4. Ли С., Ван Ю. Методика оценки воздействия русловых гидроустановок на ихтиофауну (обзор) // Экология и промышленность России. — 2023. — Т. 27, № 2. — С. 24–31.
5. Соловьев Д.А., Кузнецов А.Е. Гидрологическая стабильность малых рек юга Китая // Гидротехническое строительство. — 2021. — № 8. — С. 12–19.
6. Liu X., Zhang Y., Chen W. Operational optimization of free-flow turbines in variable flow regimes // Power Technology and Engineering. — 2022. — Vol. 56, No. 3. — P. 345–352.

7. Wang H., Li Z. Environmental impact assessment of small hydropower plants in China // Water Resources. — 2021. — Vol. 48, No. 5. — P. 742–751.
8. Zhang L., Wang S. Small hydropower in China: current status and future prospects // Renewable Energy. — 2020. — Vol. 152. — P. 1124–1135.
9. Chen J., Liu P. River current energy utilization in rural areas of Southern China // Energy for Sustainable Development. — 2018. — Vol. 45. — P. 88–97.
10. Министерство экологии и окружающей среды КНР. Технические нормативы по оценке воздействия на водные экосистемы при строительстве малых ГЭС : HJ 2.3-2023. — Пекин, 2023. — 56 с.

УДК 626.8:627.8

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РИСКОВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГИДРОУЗЛОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ: КРИТЕРИИ АДАПТАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

***Цуй Цюаньцин**, аспирант кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, zmizva@gmail.com*
*Научный руководитель - **Зборовская Марина Ильинична**, доцент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, zborovskya@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** Рассматриваются вопросы оценки эксплуатационных рисков малых и средних гидроузлов в условиях климатической нестационарности. Определены критерии адаптации режимов работы гидроузлов, что позволяет повысить надежность и безопасность их эксплуатации в условиях изменения климата.*

***Ключевые слова**: гидротехнические сооружения, климатическая нестационарность, эксплуатационные риски, гидроузел, адаптация режимов работы.*

Цель работы — разработка подхода к оценке эксплуатационных рисков малых и средних гидроузлов в условиях климатической нестационарности и формулирование критериев адаптации режимов их работы.

1. Влияние климатической нестационарности на условия эксплуатации гидроузлов

В настоящее время изменяются характеристики стока, возрастает повторяемость экстремальных осадков и паводков, усиливается неравномерность внутригодового распределения водности, трансформируются ветровые режимы и сопутствующие им волновые воздействия. Всё это влияет не только на расчетные нагрузки, но и на саму логику эксплуатации гидроузла [1, 2]. Например, увеличение частоты кратковременных, но интенсивных притоков требует иной оперативности регулирования. Напротив, длительные периоды маловодья могут вызывать дополнительные ограничения по использованию водохранилища, особенно на объектах комплексного назначения [2].

То есть климатическая нестационарность влияет на гидроузел через изменение вероятностной структуры гидрологических событий. И если ранее эксплуатационные решения опирались на статистику, которую условно можно было считать стационарной, то теперь сама база для такого подхода становится менее устойчивой [2].

Следствием трансформации приточности становится изменение уровенного режима водохранилищ. Это проявляется в увеличении амплитуды колебаний уровней, большей частоте резких переходов между режимами, увеличении продолжительности пребывания на неблагоприятных отметках, а также в более сложном сочетании уровенных и погодных воздействий [2, 3].

С точки зрения механики сооружений длительное пребывание на высоких уровнях может усиливать фильтрационные воздействия, повышать водонасыщение откосов и прибрежной зоны, увеличивать вероятность размыва и ухудшения состояния креплений. Резкие уровенные колебания могут вызывать дополнительные деформационные и фильтрационные эффекты, особенно на грунтовых сооружениях и на участках сопряжения сооружения с берегами [3, 4,6]. Следовательно, уровенный режим следует рассматривать не просто как эксплуатационный параметр, а как один из ключевых интегральных факторов риска [3].

В условиях изменения климата важную роль начинают играть не только гидрологические, но и метеорологические факторы, прежде всего ветер и связанное с ним ветровое волнение. [1, 2]. Для гидроузлов опасность представляет не просто сильный ветер сам по себе, а его сочетание с высоким уровнем воды, неблагоприятной геометрией береговой линии, уязвимым состоянием креплений и длительным воздействием. Поэтому ветроволновой фактор должен рассматриваться как составная часть общей системы эксплуатационных рисков, а не как изолированное явление [1, 3].

2. Основные эксплуатационные риски малых и средних гидроузлов.

Эксплуатационный риск в рассматриваемой работе понимается как вероятность возникновения неблагоприятной ситуации при эксплуатации гидроузла, способной привести к ухудшению технического состояния сооружения, ограничению его функций либо к развитию аварийной ситуации. В отличие от чисто расчетной нагрузки, эксплуатационный риск всегда связан с реальным режимом работы объекта, сочетанием факторов и качеством управления [3]. Можно выделить несколько основных групп рисков: риск перегрузки водосбросных и регулирующих устройств; риск неблагоприятных уровенных режимов; риск ускоренного разрушения креплений и береговой зоны; риск недостаточности существующих регламентов эксплуатации; риск недооценки сочетания нагрузок и воздействий

Система рисков представлена в таблице 1.

Таблица 1

Система рисков для малых и средних гидроузлов в условиях климатической нестационарности

Фактор	Проявление	Эксплуатационный риск	Возможное последствие
Изменение приточности	рост экстремальных расходов, смещение сезонности	перегрузка регулирующих устройств	снижение надежности пропуска паводков
Колебания уровней	рост амплитуды и длительности неблагоприятных отметок	нарушение устойчивости откосов и берегов	деформации, фильтрационные осложнения
Ветровое воздействие	усиление волнения	повреждение креплений и размыв	локальные разрушения, потеря устойчивости
Сочетание факторов	высокий уровень + ветер + продолжительное воздействие	недооценка опасного режима	повышение вероятности аварийной ситуации
Устаревшие регламенты	несоответствие режимов новым условиям	ошибочные эксплуатационные решения	снижение безопасности объекта

3. Критерии адаптации режимов эксплуатации.

С инженерной точки зрения адаптация режима эксплуатации позволяет системе «гидроузел – водохранилище – среда» сохранять устойчивость и безопасность при изменении внешних условий. Для этого требуется опираться на набор критериев, позволяющих определить, когда существующий режим уже недостаточен и нуждается в корректировке [3, 7].

Гидрологические критерии. К этой группе относятся показатели, характеризующие изменение приточности и водности: рост повторяемости расходов, близких к опасным; смещение сроков прохождения максимальных притоков; изменение длительности паводочного периода; рост неопределенности расчетных гидрографов.

Физически эти критерии отражают тот факт, что водохранилище и регулирующие сооружения начинают работать в условиях другой статистики входного воздействия [7].

Уровенные критерии. Эта группа связана с динамикой уровней в водохранилище: продолжительность пребывания на высоких и предельно допустимых отметках; скорость подъема и сработки уровня; амплитуда колебаний уровней за короткие интервалы времени; повторяемость сочетания неблагоприятного уровня с дополнительными нагрузками.

С точки зрения гидротехники эти показатели важны потому, что именно уровенный режим определяет фильтрационное состояние откосов, степень подмыва, водонасыщение грунтов и условия действия волн [2, 3, 4, 6].

Ветроволновые критерии. К ним относятся: повторяемость сильных ветров опасных направлений; расчетная и наблюдаемая высота волны; продолжительность штормового воздействия; сочетание волнения с высокими уровнями. Здесь важно понимать, что волна опасна не только своей высотой, но и запасом энергии, который передается на откос или береговую линию. При длительном воздействии даже умеренные волны могут вызвать заметное разрушение креплений [2, 4, 6].

Технические критерии состояния сооружения. Даже одинаковые внешние нагрузки по-разному влияют на сооружения с разным техническим состоянием. Учитываем состояние откосных креплений; наличие локальных размывов; признаки деформаций; состояние прибрежной зоны и сопряжений; особенности работы дренажных и фильтрационных элементов [2, 3, 4, 5, 6].

Организационно-эксплуатационные критерии. К ним относятся: достаточность существующих регламентов наблюдений; своевременность реагирования на опасные сочетания факторов; наличие сезонных ограничений и специальных режимов; уровень инструментального мониторинга; готовность персонала к работе в нестандартных условиях.

Именно эта группа критериев показывает, что безопасность определяется не только конструкцией, но и качеством эксплуатационного управления [3, 7].

4. Направления адаптации режимов работы гидроузлов.

Корректировка уровенных режимов. В условиях роста неопределенности притоков необходимо уточнять допустимые диапазоны уровней в предпаводковые, паводковый и меженный периоды. Это увеличивает гибкость управления и снижает вероятность выхода объекта на опасные режимы [3, 7].

Пересмотр эксплуатационных ограничений должен проводиться на основе новых данных наблюдений, расчетов и анализа состояния объекта [3, 4, 6].

Усиление мониторинга. В условиях климатической нестационарности возрастает значение систематических наблюдений за уровнями, ветром, волнением, состоянием откосов, креплений и прибрежной зоны. Переход к более плотному инструментальному мониторингу позволяет не просто фиксировать последствия, а заранее выявлять переход к опасному режиму [2, 3, 7].

Учет сочетания нагрузок и воздействий как опасные комбинации в оперативных решениях. Например, высокий уровень, сохраняющийся в течение длительного времени, при прогнозируемом усилении ветра может потребовать специальных профилактических мер или изменения режима работы [2, 3, 7].

Применение цифровых моделей и систем поддержки решений. Одним из перспективных направлений является использование цифровых моделей гидроузла, позволяющих объединять гидрологические данные, метеорологические прогнозы, сведения о техническом состоянии и результаты моделирования. Это особенно важно для перехода от реактивной эксплуатации к адаптивной и прогностической [2, 3, 7].

5. Практическое значение предложенного подхода. Предложенный подход может использоваться: при эксплуатации малых и средних гидроузлов; при корректировке правил использования водохранилищ; при разработке программ обследования и мониторинга; при планировании мероприятий по усилению откосов и берегоукреплению; при модернизации систем управления безопасностью ГТС.

Особую ценность он имеет для объектов, находящихся в условиях высокой изменчивости гидрометеорологических факторов, а также для гидроузлов, где ранее не проводилась целенаправленная адаптация эксплуатационных режимов к новым климатическим условиям [1, 3, 7].

Выводы.

1. Климатическая нестационарность существенно влияет на условия эксплуатации малых и средних гидроузлов, изменяя приточность, уровенный режим, ветровые воздействия и характер сочетанных нагрузок [2, 7].
2. В современных условиях безопасность гидротехнических сооружений определяется не только проектными характеристиками и техническим состоянием, но и адекватностью принятых режимов эксплуатации [3, 5].
3. Для малых и средних гидроузлов основными эксплуатационными рисками являются перегрузка регулирующих устройств, неблагоприятные уровенные режимы, усиление ветроволновых воздействий, ускоренное разрушение креплений и недостаточность существующих эксплуатационных регламентов [2, 3, 4, 5, 7].
4. Для обоснования адаптации режимов работы гидроузлов целесообразно использовать систему гидрологических, уровенных, ветроволновых, технических и организационно-эксплуатационных критериев [2, 3, 4, 5, 6, 7].
5. Переход к адаптивной модели эксплуатации, основанной на мониторинге, анализе сочетанных воздействий и использовании цифровых инструментов, позволяет повысить надежность и безопасность гидротехнических сооружений в условиях изменения климата [2, 3, 7].

Библиографический список

1. Хрусталева, М. А. Оценка воздействия комплексов гидротехнических сооружений на формирование ландшафтов водоохранных зон Москворецкой и Волжской водохозяйственных систем / М. А. Хрусталева, С. В. Суслов, М. И. Зборовская, В. А. Зимнюков // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 27–34. – EDN UONCAL.
2. Цуй, Ц. Цифровая модель прогнозирования влияния ветрового волнения на безопасность грунтовых плотин / Ц. Цуй // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии : Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 68-76. – EDN CWMVEM.
3. Булгаков, Д. В. Методология проведения комплексного обследования гидротехнических сооружений (ГТС III–IV класса) / Д. В. Булгаков // Вестник мелиоративной науки. – 2025. – № 1. – С. 69–80. – EDN IYPBRB.
4. Жукова, Т. Ю. Исследование возможности применения инженерно-экологического противоэрозионного покрытия – геомата с грунтом и посевом трав / Т. Ю. Жукова, А. В. Еремеев, Н. В. Ханов [и др.] // Экономика строительства. – 2022. – № 11. – С. 95–101. – EDN CWOJHO.
5. Гурьев, А. П. Рекомендации по предупреждению кавитационной эрозии бетона на примере водосброса № 2 Богучанской ГЭС / А. П. Гурьев, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков [и др.] // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 69–77. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77. – EDN NDELNK.
6. Гурьев, А. П. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / А. П. Гурьев, Н. В. Ханов, А. В. Еремеев [и др.]. – Москва : Российский

государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, 2020. – 252 с. – ISBN 978-5-9675-1791-4. – EDN VPDGTH.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Москва : Росгидромет, 2024. – Электрон. дан. – URL: https://www.meteorf.gov.ru/ (дата обращения: 02.05.2026).

УДК 628.21

МОДУЛЬНЫЕ АККУМУЛИРУЮЩИЕ РЕЗЕРВУАРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ

Чемизов К.А., *магистр, кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*
Научный руководитель: ***Кадысева А.А.,*** *д.б.н., профессор профессор кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций*

Введение

Интенсивная урбанизация и наблюдаемые изменения климата в сочетании создают устойчивую тенденцию к росту пиковых расходов поверхностного стока в городских водосборных бассейнах. Существующие системы ливнестока российских городов проектировались, как правило, под исторические климатические нормы и всё чаще не справляются с возросшей нагрузкой, приводя к локальным подтоплениям. Одним из ключевых инструментов устойчивого управления поверхностным стоком, широко применяемым в мировой практике, являются аккумулирующие (задерживающие) резервуары — сооружения, принимающие в себя избыток стока в период пиковых осадков и постепенно отдающие накопленную воду в дренажную сеть с контролируемым расходом. Цель настоящей статьи — теоретически обосновать необходимость и принципы применения подземных модульных аккумулирующих резервуаров в условиях климата средней полосы [1-3].

1. Климатические предпосылки применения аккумулирующих резервуаров

1.1. Рост пиковых расходов стока

Развитие городской застройки ведёт к нарастанию площади водонепроницаемых поверхностей — асфальтовых покрытий, кровель, бетонных площадок. Это принципиально меняет гидрологический отклик водосбора: коэффициент стока возрастает, а время добегания волны паводка сокращается, что многократно увеличивает расчётный пиковый расход. Исследования, проведённые с применением модели SWMM для различных городских территорий, показывают, что при отсутствии компенсирующих мероприятий пиковые расходы после дождей расчётной обеспеченности 10 лет могут превышать доурбанизационные значения в 2–3 раза. Одновременно интенсификация конвективных осадков в средней полосе России, обусловленная ростом температуры атмосферы и увеличением её влагосодержания, дополнительно усиливает паводковые нагрузки на дренажную инфраструктуру [4, 5].

1.2. Ограниченность традиционного подхода

Классический способ решения проблемы — увеличение диаметра трубопроводов и пропускной способности коллекторов — имеет существенные ограничения в уже сложившейся городской среде: высокую стоимость реконструкции, необходимость вскрытия дорожного полотна и неизбежный рост затрат при последующих расширениях сети. Аккумулирующий резервуар, напротив, перехватывает объём стока непосредственно у источника его формирования или в точке, критичной для сети, и, по существу, выполняет функцию буферного элемента между интенсивным дождём и коллектором ограниченной

пропускной способности. Исследование в г. Крату (Бразилия) показало, что установка задерживающих резервуаров на индивидуальных участках позволяет снизить пиковый расход в сети ливневой канализации в среднем на 71%, а максимальные глубины заполнения трубопроводов — на 52%.

1.3. Весеннее снеготаяние как дополнительный фактор

В отличие от тёплых климатических зон, средняя полоса России характеризуется выраженным весенним паводком от таяния снежного покрова. Основная часть годового стока формируется в течение нескольких недель, когда снеготаяние нередко совпадает с ранневесенними ливнями. При этом мёрзлый грунт не поглощает талые воды, а его оттаивание нередко происходит позже, чем появляется значительный объём стока, — то есть инфильтрация фактически отсутствует. Подземный аккумулирующий резервуар в этих условиях берёт на себя объём талых вод, разгружая сеть в наиболее уязвимый период.

2. Конструктивные принципы модульных резервуаров

2.1. От монолитных к модульным конструкциям

Традиционно аккумулирующие резервуары выполнялись в виде монолитных железобетонных или сборных камер. Переход к модульным системам на основе геоцеллюлярных (геосотовых) пластиковых блоков стал ответом на потребность в гибком по объёму, быстро возводимом и легко масштабируемом решении в условиях плотной городской застройки с ограниченными площадками. Геоцеллюлярный модуль — это пространственный полипропиленовый блок, состоящий из вертикальных несущих стоек и горизонтальных перемычек. Блоки собираются в матрицу произвольного объёма непосредственно в котловане, оборачиваются геотекстилем и засыпаются грунтом. Порозность (полезный объём) таких систем составляет 95–97% от занимаемого пространства, что принципиально выгоднее гравийных траншей с порозностью около 30–40%.

2.2. Структурные требования

Ключевым техническим требованием к подземным модульным резервуарам является способность выдерживать вертикальные нагрузки от грунта, дорожного покрытия и транспортных средств. Экспериментальные испытания подтверждают, что современные геоцеллюлярные системы со сквозным соединением блоков выдерживают нагрузки категории AASHTO HS20, соответствующей проезду тяжёлого грузового автотранспорта. Это позволяет размещать резервуары под проезжей частью, парковками и площадками — что критически важно для плотно застроенных городских кварталов, где свободных территорий практически нет. Исследования показали, что при монтаже без поперечного межблочного крепления возможны случаи расползания блоков при неравномерной осадке, поэтому конструктивная связность матрицы является обязательным проектным требованием.

2.3. Режимы работы и гидравлические характеристики

По функциональному назначению подземные модульные резервуары работают в одном из трёх режимов или их комбинации:

- **Задержание (detention)** — аккумулирование пикового объёма стока с последующим регулируемым выпуском в сеть через дроссель или донный клапан, что срезает пиковый гидрограф;
- **Удержание с инфильтрацией (retention/infiltration)** — часть накопленного объёма фильтруется в грунт через проницаемый геотекстиль, обеспечивая пополнение подземных водоносных горизонтов;
- **Повторное использование (harvesting)** — накопленная вода используется для полива зелёных насаждений или технического водоснабжения, снижая потребление питьевой воды.

Моделирование многоцелевой эксплуатации жилого задерживающего резервуара в Пекине с применением SWMM показало, что при сценарии совместного использования воды для смыва и полива коэффициент улавливания годового стока составил 91,21%, а снижение пикового расхода при ливне 10-летней обеспеченности — 71,47%.

3. Применимость в условиях средней полосы

Климатическая специфика средней полосы предъявляет к модульным резервуарам ряд дополнительных конструктивных требований. Во-первых, подземное расположение защищает резервуар от прямого воздействия отрицательных температур: при глубине заложения от 0,5–0,8 м и выше уровня промерзания грунта (в средней полосе — 1,2–1,8 м) вода в резервуаре не замерзает. Во-вторых, полипропиленовые материалы, применяемые для изготовления геоцеллюлярных блоков, сохраняют прочностные характеристики при температурах до −20 °C и устойчивы к циклическим нагрузкам замерзания-оттаивания. В-третьих, проектирование объёма резервуара для условий средней полосы должно учитывать не только летние ливни, но и суммарный объём весеннего стока, для чего применяются методики, учитывающие суточную норму снеготаяния и площадь водонепроницаемых поверхностей водосбора. Системный обзор технологий SuDS подтверждает, что задерживающие резервуары относятся к числу наиболее надёжных компонентов устойчивого дренажа в части гидрологической эффективности и минимальной чувствительности к атмосферным воздействиям по сравнению с наземными зелёными сооружениями [6, 7].

Заключение

Модульные подземные аккумулирующие резервуары являются эффективным и технологически зрелым инструментом управления поверхностным стоком в городской среде. Их применение особенно обосновано в климатических условиях средней полосы России: интенсификация кратковременных ливней, весенний паводок от снеготаяния и рост площади непроницаемых покрытий создают запрос на компактные буферные ёмкости, способные сглаживать гидрограф стока. Геоцеллюлярные полипропиленовые системы с порозностью до 95–97%, выдерживающие транспортные нагрузки класса AASHTO HS20, позволяют размещать резервуары под дорожным полотном и парковками без изменения планировочного решения территории. Многоцелевая эксплуатация в режимах задержания, инфильтрации и повторного использования обеспечивает снижение пикового расхода более чем на 70% и является перспективным направлением в практике устойчивого водоотведения российских городов.

Библиографический список

1. Lee, M. J. A review of structural performance of geocellular plastic module / M. J. Lee, Y. H. Lee, S. L. Chai // Journal of Civil Engineering, Science and Technology. — 2025. — Vol. 16, № 1. — P. 37–53. — DOI: 10.33736/jcest.6464.2025. — Текст : электронный.
2. Lee, Y. H. Structural performance of stormwater module under uniaxial load / Y. H. Lee [et al.] // Journal of Civil Engineering, Science and Technology. — 2022. — Vol. 13, № 2. — P. 136–149. — DOI: 10.33736/jcest.4483.2022. — Текст : электронный.
3. Lima Neto, V. S. Analysis of the implementation of detention tanks in urban lots / V. S. Lima Neto [et al.] // Revista de Geociências do Nordeste. — 2024. — DOI: 10.21680/2447-3359.2024v10. — Текст : электронный.
4. Locatelli, L. Modelling the impact of retention-detention units on sewer surcharge and peak and annual runoff reduction / L. Locatelli [et al.] // Water Science and Technology. — 2015. — Vol. 71, № 6. — P. 858–865. — DOI: 10.2166/wst.2015.039. — Текст : электронный.
5. Stormwater BMP Design Supplement for Cold Climates / US EPA Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. — Washington, DC, 1997. — URL: https://fnsb.gov/DocumentCenter/View/802/BMP-Design-Supplement-for-Cold-Climates-EPA (дата обращения: 19.04.2026). — Текст : электронный.
6. Todeschini, S. Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy / S. Todeschini, S. Papiri, C. Ciaponi // Journal of Environmental Management. — 2012. — Vol. 101. — P. 33–45. — DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.02.003. — Текст : электронный.
7. Wang, S. Assessing the effectiveness of a residential-scale detention tank operated in a multi-objective approach using SWMM / S. Wang [et al.] // Water Science and Technology. — 2024. — Vol. 89, № 1. — P. 54–70. — DOI: 10.2166/wst.2023.422. — Текст : электронный.

УДК 628.31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ КОАГУЛЯЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Щукин Саймон Сергеевич, *магистр кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Научный руководитель -* ***Али Мунзер Сулейман,*** *к.т.н. доцент кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, viv@rgau-msha.ru*

Введение. В центральных регионах России, в том числе в Приволжском федеральном округе, последние два десятилетия наблюдается устойчивый рост числа коттеджных посёлков, баз отдыха, санаториев и объектов с сезонным пребыванием людей. Для таких объектов характерна крайне неравномерная динамика водоотведения: длительные периоды отсутствия стоков сменяются кратковременными «залповыми» сбросами, превышающими расчётные нагрузки. Типовые очистные сооружения, рассчитанные на стабильный режим биологической очистки, в этих условиях работают неэффективно: активный ил погибает, нитрификация срывается, качество очистки падает. Проблема усугубляется дефицитом квалифицированного эксплуатационного персонала в сельской местности и высокой стоимостью регулярного лабораторного контроля [1, 2].

Одним из перспективных направлений повышения надёжности малых очистных сооружений является переход от биологических методов к физико-химическим и каталитическим, менее чувствительным к гидравлическим перегрузкам и перерывам в подаче. Однако большинство существующих разработок либо ориентированы на промышленные стоки, либо требуют сложного реагентного хозяйства. В представленной работе предлагается и апробируется трёхступенчатая комбинированная схема: коагуляция, нитрификация на аэрируемом биофильтре с плавающей загрузкой и каталитическое окисление с использованием электрохимически генерированного гипохлорита натрия в присутствии сульфата железа. Технология была внедрена на двух объектах в Пензенской области, что позволяет говорить о её практической готовности.

Цель исследования — экспериментально обосновать технологические параметры комбинированной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод для малых объектов (производительностью до 100–300 м³/сут) и оценить эффективность по результатам промышленного внедрения на действующих канализационных очистных сооружениях.

Материалы и методы исследования. Лабораторные эксперименты проводились на установке «Капля» (шесть стаканов объёмом 1 л с электромешалками) и на стенде комбинированного пневматического перемешивания собственной конструкции. Последний имел две зоны: эрлифтную (крупные пузырьки воздуха, интенсивное макромасштабное перемешивание) и зону мелкодисперсной аэрации (микромасштабное перемешивание в противотоке). В качестве коагулянтов использовали сульфат алюминия технический очищенный и полиоксихлорид алюминия (ПОХА) марки «АКВА-АУРАТ 30», флокулянтов — полиакриламид АК631 и катионный сополимер КП-555. Дозирование осуществлялось по массе товарного продукта.

Полупромышленная установка (0,2 м³/ч) включала: отстойник с камерой хлопьеобразования, биофильтр-нитрификатор с плавающей загрузкой из пенополистирола (гранулы 3–5 мм), электролизёр с нерастворимыми электродами (ОРТА) для получения гипохлорита натрия из раствора поваренной соли, контактный резервуар и каркасно-засыпной фильтр (гравий 50–70 мм + песок 1,2–1,6 мм). Контролировались следующие показатели: взвешенные вещества, ХПК, $БПК_5$, аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты — по стандартным методикам, принятым в гидрохимическом анализе сточных вод [3,4]. Обработка

экспериментальных данных выполнена методами регрессионного анализа с оценкой достоверности (коэффициент детерминации R^2 не менее 0,89 для всех полученных зависимостей).

Первая стадия — коагуляционная обработка. Эксперименты в установке «Капля» показали, что первичное отстаивание без реагентов удаляет лишь 20–26 % органики и 55–72 % взвесей. Предварительная коагуляция увеличивает эффект задержания органических загрязнений до 75–87 %, взвешенных веществ — до 80–92 %. ПОХА оказался эффективнее сульфата алюминия. При дозе ПОХА 20–120 мг/л и добавлении флокулянта КП-555 (1 мг/л) достигалось снижение: взвешенные вещества — на 91,3 %, ХПК — на 55 %, $БПК_5$ — на 69 %, фосфаты — на 51 %. Объём образующегося влажного осадка сокращался с 4,2 % (сульфат алюминия) до 2,2 % от объёма воды. Применение пневматического перемешивания вместо механического повышало эффективность очистки дополнительно на 4–7 %, что объясняется более равномерным распределением реагента и увеличением числа контактов частиц. Получены эмпирические зависимости вида $C = K_1 \cdot K_2 \cdot C_0$, где C_0 и C — концентрации до и после обработки, K_1 — коэффициент, учитывающий тип перемешивания (0,91–0,94), K_2 — функция дозы коагулянта. Например, для $БПК_5$ при обработке ПОХА: $K_2 = 5{,}367 \cdot D^{-0.623}$. Важно, что коагуляция практически не удаляет аммонийный азот (эффект ≤23 %), что потребовало введения второй стадии.

Вторая стадия — нитрификация на аэрируемом биофильтре. Загрузка из гранул пенополистирола обеспечила высокую удельную поверхность (≈600 м²/м³) и низкое гидравлическое сопротивление. Оптимальная гидравлическая нагрузка qS составила 20 м³/(м²·сут) при удельном расходе воздуха 5 м³/м³ сточной воды. При этом концентрация аммонийного азота снижалась с 10,2 мг/л до 0,14 мг/л (в 73 раза), ХПК — с 216 до 56 мг/л, $БПК_5$ — с 116 до 13,5 мг/л. Получена зависимость для аммония: $C(NH_4^+) = C_0 \cdot 2{,}062 \cdot 10^{-6} \cdot qS^{2.945}$. При нагрузке более 25 м³/(м²·сут) наблюдалось вымывание биоплёнки и резкое падение нитрификационной способности. Плавающая загрузка оказалась устойчива к периодическим перерывам в подаче воды: после двухнедельной остановки биофильтр восстанавливал нитрификацию за 3–4 суток.

Третья стадия — каталитическое окисление и доочистка. Гипохлорит натрия получали электролизом 2–3 % раствора NaCl непосредственно на площадке, что исключало затраты на доставку и хранение опасного реагента. Оптимальная концентрация активного хлора в контактном резервуаре составила 10 мг/л. Добавление сульфата железа (II) в дозе 30 мг/л выполняло две функции: катализировало окисление трудноразлагаемой органики (в том числе хлорорганических соединений) и обеспечивало полное дехлорирование — остаточный активный хлор в очищенной воде не обнаруживался. Заключительное фильтрование через каркасно-засыпной фильтр при скорости 2 м/ч удаляло скоагулированные гидроксиды железа и взвесь. Общий эффект очистки на пилотной установке превышал 98 % по аммонию, $БПК_5$ и фосфатам.

Таблица 1. Результаты внедрения комбинированной технологии на очистных сооружениях п. Вазерки (100 м³/сут, средние значения за 2025 г.)

Показатель	Исходная сточная вода, мг/л	После коагуляции и отстаивания, мг/л	После биофильтра-нитрификатор, мг/л	После каталитической обработки и фильтра, мг/л	ПДК рыбохоз. водоёма, мг/л
Взвешенные вещества	104,0	8,5	21,2	1,8	≤ 2,0

Показатель	Исходная сточная вода, мг/л	После коагуляции и отстаивания, мг/л	После биофильтра-нитрификатор, мг/л	После каталитической обработки и фильтра, мг/л	ПДК рыбох оз. водоё ма, мг/л
ХПК	216,0	79,0	56,1	17,8	≤ 20,0
$БПК_5$	116,0	48,0	13,5	2,6	≤ 3,0
NH_4^+	10,2	9,1	0,14	0,12	≤ 0,5
PO_4^{3-}	4,1	1,7	0,66	0,05	

Заключение. Апробированная комбинированная технология — коагуляция (ПОХА + КП-555) → нитрификация на аэрируемом пенополистирольном биофильтре → каталитическое окисление (гипохлорит натрия + сульфат железа) → фильтрация — показала высокую эффективность (97–99 % по основным загрязнениям) и устойчивость к неравномерному поступлению сточных вод, характерному для малых объектов сезонного действия. Технология не требует длительного культивирования активного ила, легко выходит на режим после перерыва и может обслуживаться персоналом средней квалификации. Полученные экспериментальные зависимости позволяют вести инженерный расчёт основных узлов (отстойника-флокулятора, биофильтра, контактного резервуара и каркасно-засыпного фильтра). Ограничения метода: необходимость в электролизёре для получения гипохлорита (энергозатраты порядка 2–3 кВт·ч на 1 кг активного хлора) и периодическая загрузка соли. Тем не менее для районов с наличием поваренной соли и стабильным электроснабжением технология является экономически оправданной альтернативой традиционной биологической очистке, особенно при реконструкции существующих сооружений, не справляющихся с нагрузкой. Дальнейшие исследования целесообразно направить на удешевление каталитической стадии за счёт иммобилизованных катализаторов и создание блочно-модульных конструкций для транспортабельных очистных станций

Библиографический список

1. Али С. М. Перспективы применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии //Наука и инновации современные концепции: конф. – 2019. – С. 109-114.
2. Али М. С., Лентяева Е. А., Давид С. Б. Теоретические и экспериментальные основы рабочего процесса вихревых насосов //Природообустройство. – 2024. – №. 3. – С. 94-98.
3. Короткоручко Д. Ю., Али М. С. Исследование влияния наличия и отсутствия мембраны на работу пневматических баков в системах водоподачи с точки зрения энергоэффективности //Природообустройство. – 2025. – №. 4. – С. 118-124.
4. Бандурин М. А., Волосухин В. А. Безопасность сооружений водного хозяйства юга России: новые вызовы и пути решения //Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. – 2022.

УДК 502/504:627.83:626.88

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МОДЕЛИ ВАКУУМНОГО ШАХТНОГО ВОДОСБРОСА РОГУНСКОЙ ГЭС

Алексеев Даниил Андреевич, *аспирант кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, daniil.alekseev@rgau-msha.ru*
Научный руководитель – ***Ханов Нартмир Владимирович,*** *доктор технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, khanov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Гидротехнические сооружения I и II класса ответственности в обязательном порядке необходимо проверять на моделях в лабораторных условиях. В статье рассмотрены особенности модельной установки шахтного водосброса Рогунской ГЭС, а также описана методика проведения лабораторных испытаний на модели с определением гидравлических характеристик водосброса.*
Ключевые слова: *шахтные водосбросы; гидродинамическое давление; гасители энергии; вакуум.*

Конструкция модели шахтного водосброса Рогунской ГЭС с гашением энергии сбрасываемого потока в шахте выполнена в масштабе 1:100 натуральной величины в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. Принципиальная схема модельной установки [1,2] приведена на рисунке 1.

Для серии с впуском воздуха исследования проведены для относительных открытий затвора, a/ao=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0,9 и 1.0.

Для серии без впуска воздуха исследования проведены для относительных открытий затвора, a/ao=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 5, 0.6, 0.7, 0.8, 0,9 и 1.0.

Для серии экспериментов расходы на модели водосброса с учётом пересчёта на водосброс Рогунской ГЭС были в пределах Q=630 □ 2650 м^3/с с учётом расчётного расхода 1800 м^3/с.

Моделирование осуществлялось в соответствии с методикой, основанной на критерии подобия Фруда.

Определение гидродинамического давления в гидравлической модели осуществлялось с помощью водяных пьезометров [3]. Конструкция пьезометров состоит из приёмного отверстия диаметром $d_{отв}$=2 мм, штуцера, приклеенного на поверхность оргстекла соосно приёмному отверстию, резинового шланга с внутренним диаметром 6.0 мм и стеклянной пьезометрической трубки, установленной на щите с миллиметровой шкалой. На рисунке 2 показано размещение пьезометров на модели.

На подводящем участке напорного туннеля выше створа размещения затворов было установлено 3 пьезометра, а на стволе шахты ниже створа размещения затворов было установлено 7 пьезометров [4]. Кроме этих пьезометров, для измерения вакуума под затворами, на верхнем участке шахты был дополнительно установлен пьезометр, присоединявшийся на период замеров к U – образному стеклянному вакуумметру, который виден на рисунке 3.

Изучение гашения энергии потока в шахте необходимо проводить для трёх режимов: со свободным доступом воздуха в шахту; без доступа воздуха в шахту; с дозированной подачей воздуха в шахту в соответствии с возможным количеством его выделения из воды [5,6,7,8].

Затворная камера с двумя затворами позволит регулировать поочерёдное открытие

левого или правого затвора с подачей воздуха и без подачи воздуха, а также и открытие сразу двух затворов. Это позволит увидеть максимально возможное количество картин движения воды в шахте и туннеле. На основании увиденного процесса движения воды можно проанализировать работу модели вакуумного шахтного водосброса.

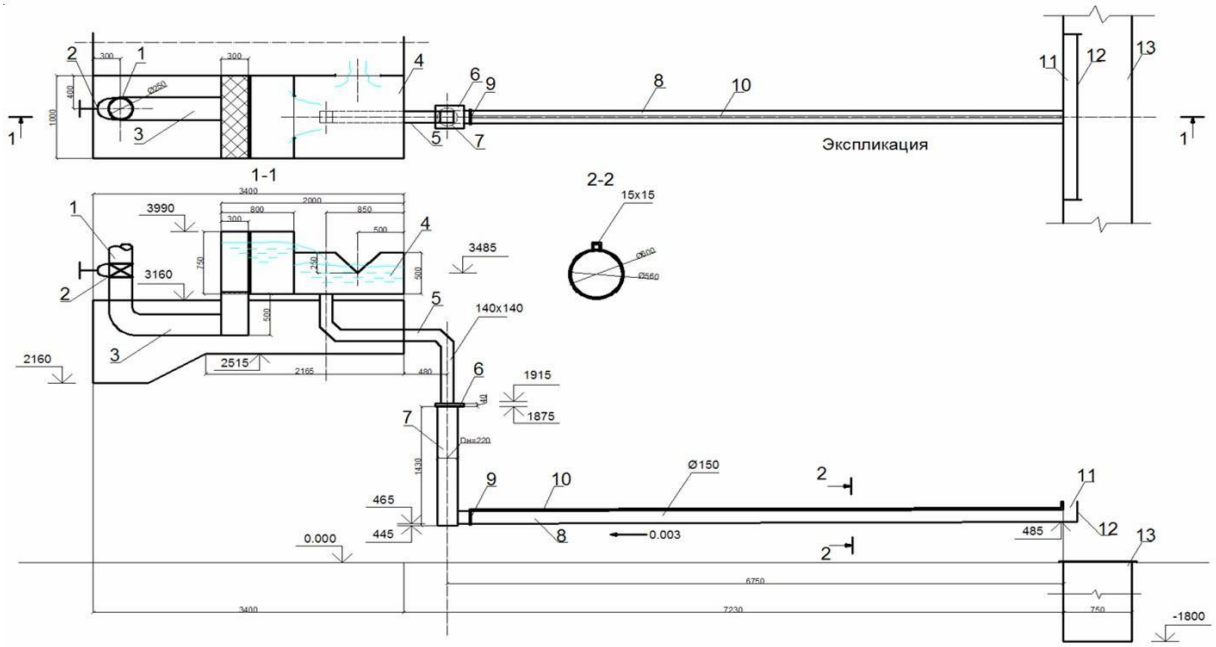


Рис. 1 Принципиальная схема модельной установки водосброса №3 Рогунской ГЭС

1 – питающий водопровод; 2 – регулирующая задвижка; 3 – подводящий трубопровод; 4 – распределительный бак; 5 – напорный туннель;
6 – горизонтальный плоский затвор; 7 – шахта; 8 – отводящий туннель;
9 – диафрагма; 10 – воздухозаборник; 11 – траншея; 12 – распределительная стенка; 13 – отводящий лоток

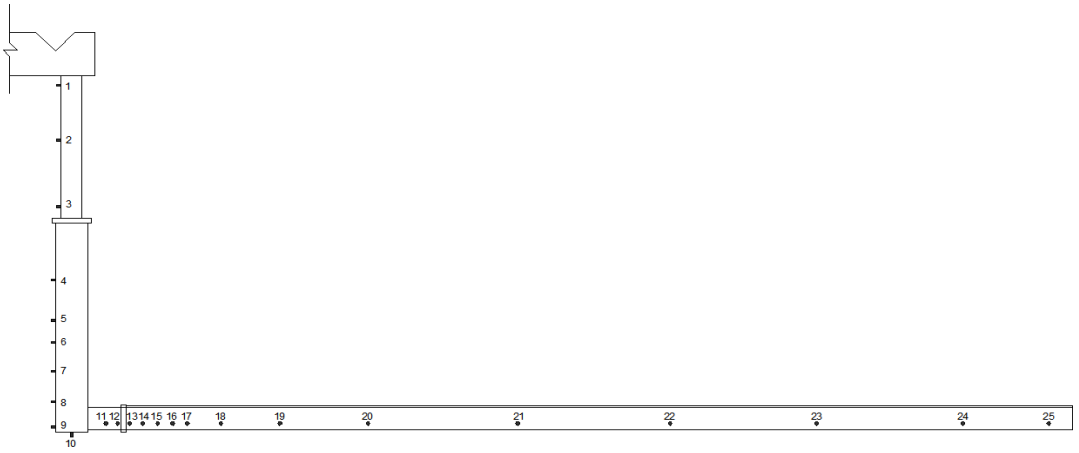


Рис. 2 Схема размещения пьезометров на модели водосбросного туннеля Рогунской ГЭС

На модели шахтного водосброса Рогунской ГЭС конструкция напорного бака, шахты гашения энергии с затворной камерой в верхней части и начальный участок отводящего туннеля представлены на рисунке 5.

На рисунке 7 показана принципиальная схема конструкции горизонтального затвора. Для исследований будет использоваться конструкция затворной камеры с двумя затворами, модель которой приведена на фото, рисунок 6.

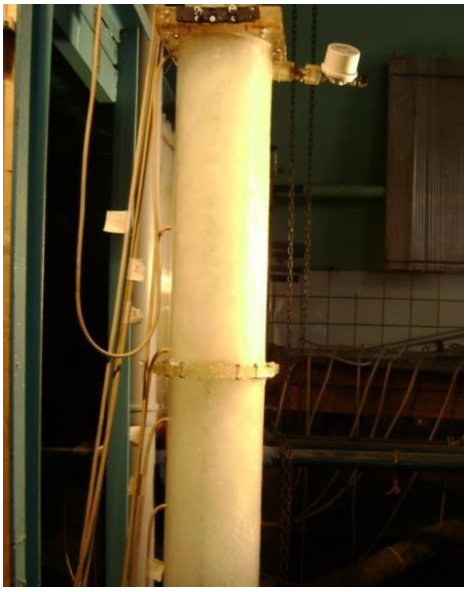


Рис. 3 Пьезометры, установленные на шахте



Рис. 4 Фото пьезометрического щита с показаниями пьезометров



Рис. 5 Головной участок и отводящий туннель модели водосброса Рогунской ГЭС



Рис. 6 Фото конструкции затворной камеры с двумя затворами с острой кромкой

К примеру, при двух открытых затворах на 0.5 от полного открытия и впуске воздуха в шахту можно видеть, что работа всего водопропускного тракта удовлетворительная. Также чередуя открытый левый или правый затворы на 0.5 от полного открытия и впуске воздуха в шахту картина движения воды удовлетворительная.

В начале на модели предполагалось использовать затворы с острой кромкой. На предварительных исследованиях работы шахтного гасителя энергии с использованием затворов с острой кромкой при обтекании напорного ребра затвора за счёт искривления поверхности струи происходит её отклонение от вертикального направления падения. В результате происходит контакт струи с внутренней поверхностью шахты, что нежелательно для бетона, даже не смотря на сильную аэрацию потока. В целях снижения отклонения струи регулирующим граням затвора принято использовать скруглённые затворы.

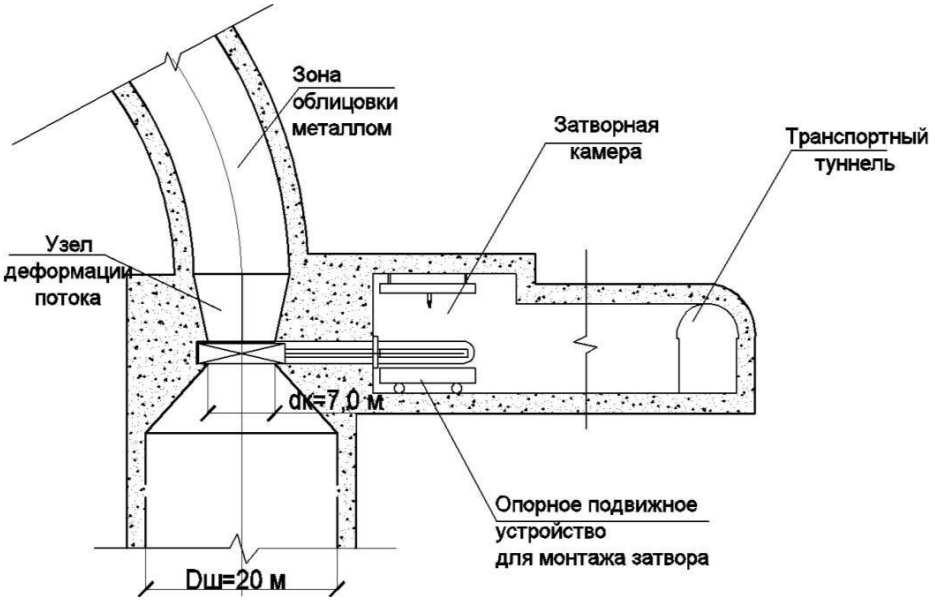


Рис. 7 Принципиальная схема конструкции горизонтального затвора

На основании экспериментальных данных на модели шахтного водосброса Рогунской ГЭС можно оценить её принципиальную работу, а именно: эффективность гашения энергии потока; диапазон расходов, в котором возможно использование конструкции; допустимые характеристики вакуума.

Библиографический список

1. Золотов Л. А., Семенков В. М. Тенденции в проектировании гидротехнических водосбросных сооружений с учётом кавитации и динамических нагрузок. // Гидротехническое строительство. – 1985. – №7. – С. 4 – 9.

2. Растворимость воздуха в воде. Деаэрация. Закон Генри. Коэффициенты Генри для воздуха // Техническая информация: Инженерный справочник DPVA.ru: [сайт].URL:https://dpva.ru.

3. СП 290.1325800.2016. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Введ. 2017-06-17.

4. М о й с П. П., Розанов Н. II., Тужилкин А. М., Гидравлические лабораторные исследования вариантов шахтного и траншейного водосбросов Чарвакского гидроузла, Отчет по научно¬исследовательской работе кафедры гидросооружений МИСИ им. В. В. Куйбышева, М., 1957.

5. Слисский С.М. Гидравлические расчёты высоконапорных гидротехнических сооружений. М.: Энергия, 1979. – 336 с.

6. Физическая энциклопедия. Том 1. М.: Советская энциклопедия, 1988. – 704 с.

7. Алексеев, Д. А. Результаты исследования влияния шахтного гасителя энергии на образование волнового движения воды в отводящем туннеле / Д. А. Алексеев, Н. В. Ханов, Т. Ю. Жукова // Мелиорация и гидротехника. – 2026. – Т. 16, № 1. – С. 250-262. – DOI 10.31774/2712-9357-2026-16-1-250-262. – EDN RQKAXC.

8. Теоретическое обоснование работы вакуумного шахтного гасителя энергии потока / А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов, Д. А. Алексеев // Гидротехническое строительство. – 2024. – № 5. – С. 24-33. – DOI 10.34831/EP.2024.36.58.004. – EDN GJYMKJ.

УДК 574.4:630

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСА МУДЖЕБАРА (АЛЖИР) С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ МИССИИ GEDI и NDVI

***Аззуз Хишам Набиль**, аспирант кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, hichamnabil@yandex.ru*
*Научный руководитель: **Кивалов Сергей Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

***Аннотация:** Данная работа посвящена разработке и научному обоснованию комплексной методики оценки влияния ключевых абиотических факторов на возобновление лесных массивов в засушливых условиях Алжира. Исследование базируется на интеграции высокоточных данных космического лидарного сканирования миссии GEDI и детальных наземных измерений в лесном массиве Муджебара. В статье подробно разобран технический процесс функционирования лазерной системы GEDI, а также представлен пошаговый алгоритм полевых работ и последующего моделирования. Автором предложена система экологической классификации участков леса на основе ожидаемых параметров температурного режима и доступности биогенных элементов (азот, фосфор), что является необходимым условием для успешной реализации и коррекции государственного проекта «Зелёный пояс».*

***Ключевые слова:** экологический мониторинг, Зелёный пояс, миссия GEDI, лесовосстановление, температурный стресс, азот, фосфор, 1.5.15 Экология.*

Введение. Проект «Зелёный пояс» (Barrage Vert) в Алжире был запущен в 1971 году как крупнейшая экологическая инициатива по борьбе с опустыниванием в Африке. Однако за десятилетия реализации стало очевидно, что многие участки лесовосстановления деградируют, несмотря на усилия по посадке [1, 2]. В качестве одной из основных проблем выступает отсутствие детального мониторинга экологических факторов на локальном уровне. Для успешного выполнения стратегии 2023 года по расширению территории до 4,7 млн га требуется «переосмысление» подходов к управлению лесом. Необходимо перейти от простого учета площади к глубокому анализу вертикальной структуры древостоя и его здоровья [4]. Это требует внедрения современных инструментов, таких как ГИС и дистанционное зондирование [7].

Миссия NASA GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) представляет собой лазерную систему, установленную на борту Международной космической станции. В отличие от обычных фотографий со спутника, лидар GEDI проникает сквозь кроны деревьев. Процесс выглядит так: лазер посылает импульс, который отражается от различных слоев леса (листьев, веток) и, наконец, от поверхности земли. В результате формируется «волна» (waveform), которая показывает нам высоту леса и плотность биомассы. Используются метрики уровня L2A (Relative Height — RH100) для расчета высоты крон и уровня L2B для оценки площади поверхности листьев. Это позволяет видеть структуру леса в 3D, что представляется проблематичным при наземном обходе огромных территорий [4].

Существует устойчивая корреляция между показателем NDVI и продуктивностью для различных типов экосистем. На его основе возможно получение численных данных для использования в расчетах оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от различных естественных и антропогенных бедствий, аварий. Спутниковые снимки и карты NDVI (https://gis-

lab.info/qa/ndvi.html) позволяют выявить участки растительности, требующие внимания (пожелтение, задержка роста), что также позволяет применять дифференцированный подход к удобрениям.

В рамках данной работы предполагается использование принципа комплексирования данных, который был успешно валидирован в исследовании **Потапова П.В. и др.** [6]. Интеграция лидарных профилей GEDI, фиксирующих структуру (высоту) древостоя, со спектральными данными NDVI рассматривается как наиболее перспективный метод для аридных зон. Такой подход позволяет теоретически выявлять несоответствие между физической биомассой и её метаболической активностью, что служит ранним индикатором экологического стресса еще до начала визуальной деградации лесного массива.

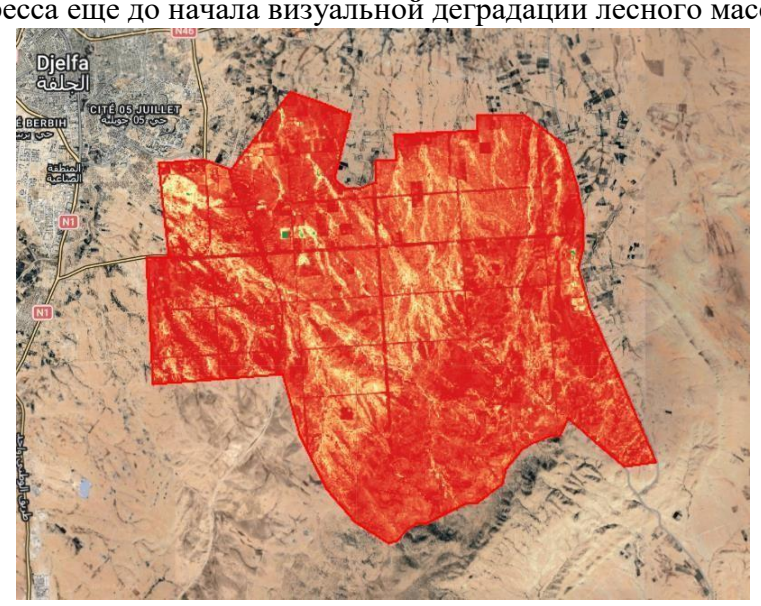


Рис. 1 Пространственное распределение индекса NDVI в границах леса Муджебара (2025 г.).

Таблица 1

Интерпретация состояния растительности на основе диапазона индекса NDVI

Цвет на карте	**Диапазон NDVI**	**Интерпретация состояния растительности**
Темно-красный	**0.0 – 0.15**	Открытая почва / Поверхностная деградация (Зона В)
Оранжевый	**0.15 – 0.25**	Критический температурный стресс / Угнетение роста
Желтый	**0.25 – 0.35**	Умеренный стресс / Дефицит питательных веществ (Зона Б)
Светло-зеленый	**0.35 – 0.45**	Удовлетворительное состояние / Активное восстановление
Темно-зеленый	**> 0.45**	Оптимальное состояние лесного полога (Зона А)

Исследование реализуется в четыре последовательных этапа, обеспечивающих научную точность:

Этап 1. Полевая инвентаризация: Мы выбираем участки в лесу Муджебара, через которые проходят орбиты GEDI. С помощью высокоточных GNSS-приемников (GPS) фиксируются координаты пробных площадей. Вручную проводятся измерения высоты деревьев и диаметра стволов (DBH). Все параметры рассчитываются для каждого дерева отдельно, создавая базу данных «золотого стандарта» [7].

Этап 2. Сбор экологических данных: параллельно проводятся замеры температуры (Tair, Tsoil) и влажности (RHair, RHsoil) воздуха и верхнего слоя почвы. Температурный стресс и стресс в результате дефицита давления водяного пара (VPD) являются главными врагами саженцев сосны алеппской [3]. Также отбираются образцы почвы для лабораторного анализа на содержание углерода, азота, карбонатов и микроэлементов калия и фосфора.

Этап 3. Валидация: Спутниковые данные сопоставляются с ручными измерениями. Мы проверяем, насколько точно лазер из космоса видит ту же высоту, которую мы измерили на земле [4]

Этап 4. Моделирование: Итогом является построение корреляционных моделей, связывающих высоту и структуру древесного покрова с дефицитом азота и фосфора в почве.

Согласно региональным научным стандартам для *Pinus halepensis*, содержание доступного фосфора ниже 0,05 мг/к и общего азота ниже 0,1% признается критическим порогом, ведущим к стагнации роста. В рамках разрабатываемой методики данные пороги принимаются за эталон : их достижение должно коррелировать с падением индекса NDVI до 0,20–0,25 и отсутствием прироста высоты в профилях GEDI. Это позволяет гипотетически разделить лес Муджебара на зоны здоровья (А, Б, В) даже при отсутствии полных данных наземной инвентаризации на текущем этапе

Таблица 2

Критерии экологической классификации участков леса (ожидаемые параметры)

Категория / Зона	Температура (°C)	Азот/Фосфор (N/P)	Углерод/Азот (C/N)	Ожидаемый рост
Зона А (Оптимум)	Ниже 35°C	Высокий уровень	Оптимальный уровень	Успешный рост
Зона Б (Стресс)	35°C – 42°C	Средний дефицит	Низкий уровень	Замедленный рост
Зона В (Деградация)	Выше 42°C	Острый дефицит	Высокий уровень	Отсутствие роста

Здоровье деревьев в возрасте 5–10 лет напрямую зависит от химического состава почвы. Отношение концентрации органического углерода к азоту (C/N) в почве характеризуют скорость минерализации органического вещества и ее плодородие [3]. В аридных условиях Алжира азот (N) и фосфор (P) часто являются дефицитными элементами [5]. Если дерево не получает достаточно азота, оно не может наращивать биомассу, что сразу отражается на индексе NDVI и лидарном профиле GEDI. Лабораторный анализ образцов почвы позволит нам показать, что причиной гибели леса в определенных зонах является не только засуха, но и критическое истощение субстрата. Это научное обоснование поможет правильно распределять удобрения и выбирать жизнеспособные виды для посадки [3].

Канада и страны Европы активно используют лазерное сканирование лесов для управления углеродными квотами [6]. Точный учет биомассы позволяет этим странам привлекать огромные климатические инвестиции. Реализация данной методики в Алжире сделает проект «Зелёный пояс» прозрачным и научно обоснованным для международного сообщества. Интеграция данных GEDI и данных о почве — это современный стандарт экологического мониторинга (специальность 1.5.15) [4].

Научная новизна исследования заключается в адаптации глобально признанных моделей **Потапова П.В. и др**. (2020) к локальным координатам леса Муджебара (34°26’48 N, 3°29’02 E). Мы исходим из гипотезы, что взаимная валидация данных GEDI и NDVI позволит подтвердить работоспособность предлагаемого алгоритма мониторинга. Это создает научную базу для будущих полевых работ, позволяя сопоставить теоретические выводы **С.Н. Кивалова** (2024). о температурном ингибировании фотосинтеза с реальными спутниковыми измерениями структуры и функции леса.

В данной работе представлено теоретическое и методологическое обоснование выбора темы исследования, базирующееся на синергии данных миссии GEDI и индекса NDVI. В соответствии с задачами, изложенными в аннотации, работа подтверждает целесообразность выбранного подхода:

1. Методологическая состоятельность: Выбранная стратегия интеграции лидарных данных и спектральных индексов, успешно валидированная в мировой практике **Потапова П.В. и др** (2020), признана наиболее перспективной для дистанционной оценки структуры и функции лесов в аридных условиях Алжира.

2. Диагностический потенциал: Предложенная система классификации (зоны А, Б и В) позволяет сформировать рабочую гипотезу для оценки деградации лесов на основе температурных режимов и доступности биогенных элементов (азот, фосфор).

3. Научное обоснование: Использование установленных критических порогов нутриентов (P < 0,05 мг/кг, N < 0,1%) в качестве эталонов позволяет обосновать план предстоящих лабораторных исследований и полевых работ.Таким образом, обоснованная в статье методика создает необходимую научную базу для реализации проекта «Зелёный пояс». Ожидается, что применение данного алгоритма обеспечит переход от эмпирических методов посадки к доказательному, адаптивному управлению лесными ресурсами в условиях климатического стресса.

Библиографический список

1. Амара М., Бенмалек А., Бузиди М. Динамика проекта «Зеленая плотина» в провинции Джельфа: экологический мониторинг // Экологическая инженерия. — 2023. — № 12. — С. 45-52.
2. Бенмалак А. Экосистемы Сахары и прилегающих территорий: методы восстановления. — Алжир: Изд-во Алжирского ун-та, 2024. — 180 с.
3. Деббарма Р., Сингх С.К., Верма А.К., Кхоген Сингх С., Вайкхом Г. Технология Биофлок: стратегический способ переработки отходов в аквакультуре // Органическое земледелие (второе издание). — Woodhead Publishing, 2023. — С. 395-419.
4. Дубайя Р., Блэр Дж.Б., Гётц С., Фатиччи С., Хелликер Б., Хили С., Дункансон Л., Хэнкок С., Армстон Дж. Миссия NASA GEDI: научные задачи и технические характеристики // Дистанционное зондирование окружающей среды. — 2020. — Т. 239. — С. 102-115.
5. Кивалов С.Н. Определение оптимальной облачности для повышения поглощения углерода лесами: моделирование выброса ЧЭО в периодическом случае // Экологическое моделирование. — 2024. — Т. 498. — С. 1-16.
6. Потапов П.В., Ли С., Эрнандес-Серна А., Тюкавина А., Хансен М.С., Пикенс А., Трубанова С., Армстон Дж., Дубайя Р. Картографирование глобальной высоты лесного полога путем интеграции данных GEDI и Landsat // Дистанционное зондирование окружающей среды. — 2020. — Т. 251. — № 112165. — С. 1-15.
7. Чен М., Ван Л., Чжан Ю. Технологии лазерного сканирования лесов и 3D-моделирование. — Берлин: Спрингер, 2023. — 450 с.

УДК 574.4

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ДЕТРИТНО-ДЕСТРУКЦИОННОГО ЦИКЛА УГЛЕРОДА В ПЕРЕСТОЙНОМ СМЕШАННОМ ЛЕСУ

***Авдеева Анастасия Васильевна**, аспирант кафедры Экология, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, neonlight.zero@gmail.com*
***Санчес Альмейда Луис Энрике**, аспирант кафедры Экология, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, luisasel@yandex.ru*
*Научный руководитель - **Васенев Иван Иванович**, д.б.н., профессор кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, vasenev@rgau-msha.ru*

Аннотация. *Лесные экосистемы играют важную роль в депонировании, трансформации и минерализации углерода. Для моделирования углеродного цикла необходимо учитывать не только величину органических пулов, но и этапы поступления, накопления, переработки и потерь органического вещества. В модели рассматриваются свежий древесный опад как входной поток, древесная мортмасса и подстилка как детритное звено трансформации, органический углерод верхних горизонтов почвы как почвенный пул, эмиссия CO_2 как выходной поток и почвенная биота как регулятор минерализации. Формирование системы параметров модели основано на данных по запасам и пространственной вариабельности опада, мортмассы, подстилки, органического углерода почвы, эмиссии CO_2 и биологической активности почвы. Предлагаемый подход позволяет перейти от анализа отдельных компонентов органического вещества к формированию пространственно-дифференцированной модели детритно-деструкционного цикла углерода в перестойной лесной экосистеме.*

Ключевые слова*: углеродный цикл, деструкция органического вещества, древесная мортмасса, подстилка, органический углерод почвы, эмиссия CO_2 , перестойный лес, параметризация модели.*

Введение

Лесные экосистемы являются важным звеном глобального цикла углерода, обеспечивая накопление, трансформацию и минерализацию органического вещества (ОВ). Современные модели динамики ОВ почв всё в большей степени учитывают процессы трансформации, микробное звено и связи между пулами, однако для перестойных лесных экосистем эти связи остаются разработанными недостаточно [1]. Несмотря на большое число исследований, посвящённых запасам ОВ в подстилке и почве, параметризация входных, промежуточных и выходных звеньев деструкционного цикла углерода остаётся недостаточной. Процессы деструкции определяют накопление, перераспределение и разложение ОВ, влияя на формирование почвенного углеродного пула и интенсивность эмиссии CO_2 .

В перестойных лесах деструкционный цикл углерода усложняется вследствие накопления древесной мортмассы, усиления пространственной мозаичности подстилки и неоднородности условий трансформации ОВ. Для перестойных смешанных лесов, особенно в условиях урбанизированной территории, это имеет особое значение, поскольку на стадии позднего климакса (распада экосистемы) нарушается динамическое равновесие [2] и может усиливаться пространственная неоднородность поступления ОВ [3].

Целью работы является представление концептуальной структуры модели детритно-деструкционного цикла углерода в перестойной лесной экосистеме и обоснование состава её ключевых параметров на основе собственных полевых и аналитических материалов. Научная новизна исследования заключается в разработке концептуальной структуры и системы эмпирически измеряемых параметров пространственно-дифференцированной модели детритно-деструкционного цикла углерода для перестойной смешанной лесной экосистемы урбанизированной территории.

Объекты и методы.

Исследование выполнено в перестойной смешанной лесной экосистеме на пяти ключевых участках, различающихся по положению в мезорельефе, составу древостоя и уровню рекреационной нагрузки [3]. Для параметризации концептуальной схемы используются данные натурных исследований по запасам и пространственной вариабельности свежего древесного опада, древесной мортмассы, массе подстилки, содержанию органического углерода в верхних горизонтах почвы, а также результаты оценки эмиссии CO_2 и показателей биологической активности почвы. Модель включает входной, детритный, почвенный, регуляторный и выходной блоки, а также систему пространственных и структурных модификаторов.

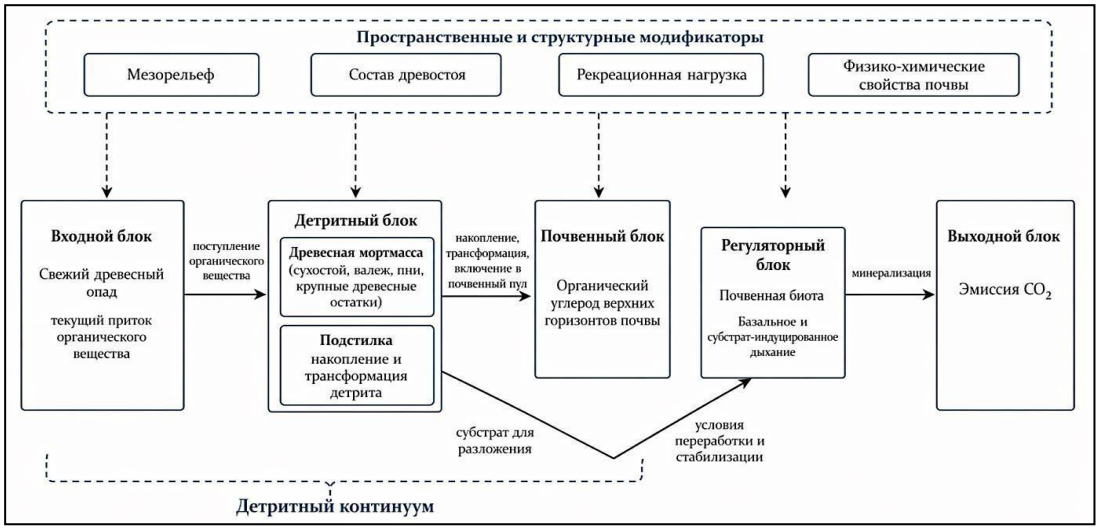


Рис. 1. Концептуальная схема детритно-деструкционного цикла углерода в перестойной лесной экосистеме.

Результаты и обсуждение

Предлагаемая модель исходит из того, что в перестойной лесной экосистеме детритно-деструкционный цикл углерода реализуется прежде всего через детритный континуум, включающий свежий древесный опад, древесную мортмассу, подстилку и почву. Через это звено происходит поступление органического вещества, его временное накопление, трансформация и последующее включение в почвенный углеродный пул либо минерализация с выделением CO_2 . В отличие от схем, где почва рассматривается как статический резервуар ОВ, в данной модели она выступает как один из этапов трансформации ОВ, связанный с переработкой и стабилизацией детрита.

Принципиально важным элементом предлагаемой модели является включение мортмассы древесного отпада как самостоятельного структурно-функционального блока. В перестойных лесных экосистемах мортмасса отражает одновременно сукцессионное состояние леса, степень естественной динамики древостоя, потенциал длительного депонирования углерода и дополнительный источник детрита для подстилки и почвы [4]. В состав мортмассы включаются сухостой, валеж, пни и другие крупные древесные остатки, находящиеся на различных стадиях разложения. Разделение валежа и пней по стадиям разложения позволяет рассматривать мортмассу не как пассивный запас ОВ, а как активное звено трансформации. Ранние стадии разложения в большей степени отражают структурный запас древесного детрита, тогда как поздние стадии характеризуют степень его включённости в процесс трансформации ОВ.

Древесный опад в модели рассматривается как входной поток ОВ, а также субстрат для осуществления жизнедеятельности почвенных организмов. Более легкоразлагаемые фракции обеспечивают быстрый приток органики в почвенно-подстилочное звено, тогда как грубые древесные и лигнин-содержащие компоненты формируют более инертный субстрат и участвуют в длительном накоплении детрита, являются фактором неоднородности его распределения в пространстве. Следовательно, на уровне входного потока модель должна учитывать не только массу опада, но и его структурный состав, потенциальную способность к быстрой или медленной трансформации. Масса опада и фракционный состав определяются составом древостоя и пространственной неоднородностью участка. В перестойном смешанном лесу структура опада может существенно различаться между участками, поскольку широколиственные и хвойные компоненты по-разному участвуют в формировании подстилки и последующей трансформации ОВ.

Подстилка в предлагаемой модели рассматривается как промежуточное звено аккумуляции ОВ и непосредственная среда его переработки перед включением в почву. Ее общий баланс в лесу определяется соотношением интенсивности поступления опада и

скорости его разложения [5]. В отличие от опада, который отражает ежегодный вход органического материала, подстилка характеризуется более длительным процессом разложения и трансформации ОВ. Предварительный анализ показывает, что масса подстилки и содержание органического углерода в верхнем органоминеральном горизонте почвы связаны положительно. На выраженность связи и ее направленность влияют мезорельеф, состав древостоя, особенности опадно-подстилочного слоя и степень нарушения покрова. Подстилка выступает важным посредником между детритным пулом и почвой [6, 7], что подтверждает необходимость её включения в модель как самостоятельного блока.

Почва в модели характеризуется как долговременный резервуар органического углерода, формирующийся под влиянием поступления ОВ из свежего опада, древесной мортмассы (отпада) и подстилки, а также условий его переработки и стабилизации. Предварительные данные показывают, что наиболее тесные связи выявляются между компонентами органического пула, тогда как влияние отдельных физико-химических свойств почвы носит более сложный и неоднозначный характер. Это позволяет предполагать, что наибольшая вариабельность содержания ОВ в почве и подстилке определяется суммарным поступлением субстрата на поверхность, его пространственной организацией, структурой и скоростью преобразования.

Эмиссия CO_2 завершает деструкционный цикл углерода и отражает интенсивность минерализации ОВ. В предлагаемой модели она рассматривается как выходной поток углерода, величина которого определяется структурой детритного пула, состоянием почвы и биологической активностью.

Биотический блок, включающий показатели базального и субстрат-индуцированного дыхания, в дальнейшем будет использоваться для количественной оценки регуляции перехода ОВ из подстилочно-почвенного звена в выходной поток CO_2 .

На текущем этапе работа направлена на первичную параметризацию модели, то есть на отбор и экологическое обоснование показателей, включаемых в её количественную реализацию.

Заключение

Предлагаемая модель детритно-деструкционного цикла углерода основана на представлении о детритном пуле как центральном звене трансформации ОВ в перестойной лесной экосистеме. В отличие от схем, ориентированных преимущественно на почвенный резервуар углерода или продукционные процессы, в данной модели ключевая роль отводится последовательной связи между свежим древесным опадом, древесной мортмассой (отпадом), подстилкой, почвой и эмиссией CO_2 при определяющей регуляторной роли почвенной биоты. Показано, что именно детритный континуум определяет структуру и направленность углеродных потоков в перестойном лесу. Древесная мортмасса и опад при этом рассматриваются как самостоятельные структурно-функциональные блоки, отражающие состояние экосистемы, сукцессионную стадию и определяющие длительность и направленность трансформации ОВ.

Подстилка выступает промежуточным аккумулятором и средой преобразования детрита, почва - основным долговременным пулом углерода и средой трансформации ОВ, а эмиссия CO_2 - выходным потоком, характеризующим интенсивность минерализации.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет перейти от анализа отдельных компонентов ОВ к разработке концептуальной структуры и системы параметров модели детритно-деструкционного цикла углерода в перестойной лесной экосистеме. Дальнейший этап работы связан с количественной апробацией модели на основе данных по эмиссии CO_2 и показателям биологической активности почв.

Библиографический список

1. Рыжова И. М., Романенков В. А., Степаненко В. М. Современное развитие моделей динамики органического вещества почв (обзор) //Вестник Московского

университета. Серия 17. Почвоведение. – 2024. – №. 4. – С. 122-129. DOI: 10.55959/msu0137-0944-17-2024-79-4-122-129.

2. Smagin A. et al. Carbon Sequestration as a Driver of Pine Forest Succession on Sandy Alluvium: Quantitative Assessment and Process Modeling //Forests. – 2025. – Т. 16. – №. 9. – С. 1482. DOI:10.3390/f16091482.

3. Авдеева А.В., Санчес Альмейда Л.Э., Васенев И.И. Влияние климата на накопление органического вещества в дерново-подзолистой почве в условиях экосистемы перестойного леса [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научнопроизводственный журнал. – 2025. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/5/st_531.pdf DOI: 10.51419/202155531.

4. Стороженко В. Г. Объемы, структура и динамика разложения древесного отпада в коренных ельниках таежной зоны европейской части России //Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2018. – №. 5. – С. 15-25. DOI: 10.17076/eco635.

5. Решетникова Т. В., Зырянова А. А., Ведрова Э. Ф. Трансформация органического вещества лесной подстилки (экспериментальное исследование) //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 6. – С. 80-93.

6. Шанин В. Н. и др. Моделирование динамики лесных экосистем с учётом их структурной неоднородности на разных функциональных и пространственных уровнях //Вопросы лесной науки. – 2022. – Т. 5. – №. 3. – С. 96-289. DOI:10.31509/2658-607x-202252-112.

7. Мосина, Л. В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москва: специальность 03.00.16 : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Мосина Людмила Владимировна. – Москва, 2002. – 456 с. – EDN QDWLPR.

УДК 631.431.7

ФАЗОВО-СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ

***Александров Никита Александрович**, старший преподаватель кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, alexandrov_na@rgau-msha.ru*
*Научный руководитель: **Ярославцев Алексей Михайлович**, к.б.н., доцент кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

***Аннотация:** В статье рассматривается применимость фазово-специфического подхода к оценке продуктивности агроэкосистем ярового ячменя на основе данных метода турбулентных пульсаций. Показано, почему учет дискретных фенологических фаз развития растений физиологически более обоснован, чем использование непрерывных метрик вроде суммы активных температур. Дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил, что фенофазы объясняют 13,2% изменчивости углеродного обмена. Учет фенофаз и внутриполевой пространственной неоднородности позволяет существенно повысить точность моделирования валовой первичной продукции (GPP) и экосистемного дыхания (Reco).*

***Ключевые слова:** метод турбулентных пульсаций, яровой ячмень, фенофазы, сумма активных температур, продукционный процесс, углеродный баланс, ANOVA, моделирование.*

Введение. Агроэкосистемы являются важнейшим компонентом глобального углеродного цикла. Традиционные методы моделирования продуктивности сельскохозяйственных культур часто опираются на непрерывные агроклиматические индексы, такие как сумма активных температур. Однако она отражает лишь накопленное тепловое время и предполагает монотонную реакцию растений на среду. В реальности

развитие растений - это последовательность дискретных фенологических фаз, каждая из которых представляет собой уникальное физиологическое и морфологическое состояние.

На разных фенофазах растения демонстрируют принципиально различные стратегии: меняется архитектура посева, распределение ассимилятов (вегетативный рост vs. налив зерна) и чувствительность устьичного аппарата к стрессу. Например, при одном и том же температурном фоне реакция культуры на дефицит влаги в фазу кущения (анизогидрическое поведение) будет кардинально отличаться от реакции в фазу цветения (изогидрическое поведение). Использование метода турбулентных пульсаций (Eddy Covariance) позволяет непрерывно фиксировать эти сдвиги. Цель данного исследования — доказать необходимость применения фазово-специфического подхода вместо непрерывных температурных моделей для оценки углеродного баланса агроэкосистем ярового ячменя [1-7].

Материалы и методы исследования. Исследования проводились на стационаре РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва). Объектом исследования служили посевы ярового ячменя (*Hordeum vulgare L.*) в 2013, 2016 и 2023 гг.

Измерение потоков парниковых газов осуществлялось методом турбулентных пульсаций. Разделение чистого экосистемного обмена (NEE) на валовую первичную продукцию (GPP) и экосистемное дыхание (Reco) выполнялось в среде R (пакет *REddyProc*). Вклад факторов в изменчивость потоков оценивался с помощью дисперсионного анализа (ANOVA).

Оценка внутриполевой неоднородности в 2023 году проводилась на основе проксимального зондирования: измерения индекса листовой поверхности (LAI) и содержания хлорофилла (SPAD). Поле было разделено на зоны по порогу 65-го перцентиля биомассы. Моделирование продукционного процесса осуществлялось путем параметризации световых кривых фотосинтеза (алгоритм Lasslop et al., 2010) отдельно для каждой фенологической фазы.

Результаты и обсуждение. Использование непрерывных температурных метрик (CAT) не способно в полной мере объяснить наблюдаемую межгодовую вариабельность компонентов баланса. Так, наибольшее поглощение CO_2 (NEE = −231 г С м$^{-2}$) было достигнуто в 2013 году при умеренной GPP (604 г С м$^{-2}$), тогда как в рекордном по продуктивности 2016 году (GPP = 952 г С м$^{-2}$), несмотря на высокие суммы активных температур, опережающий рост респираторных потерь (Reco) снизил экосистемную эффективность использования углерода (eCUE) с 0,38 до 0,15.

Для количественной оценки важности физиологического статуса культуры был проведен дисперсионный анализ (ANOVA). Результаты показали, что смена фенологических фаз выступает самостоятельным детерминирующим фактором, объясняющим 13,2% общей дисперсии потоков углерода (уступая лишь прямому влиянию климатических факторов — 53,4%) (рис. 1).

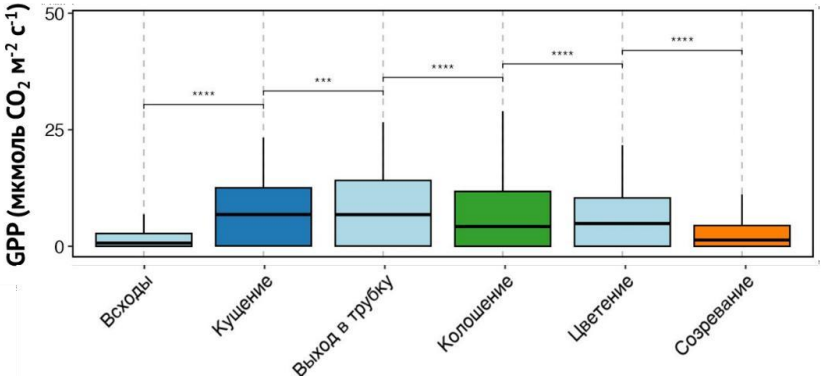


Рис. 1. Результаты дисперсионного анализа (ANOVA): вклад фенологических фаз в дисперсию валовой первичной продукции (GPP)

Сдвиг параметров фотосинтеза при переходе между фазами происходит скачкообразно, что невозможно описать линейными моделями CAT. Сопоставление параметров световых кривых показало, что период «выход в трубку — колошение» является критическим окном, в

котором формируется 60–70% валовой продукции и достигаются максимальные значения фотосинтетической емкости (β) (табл. 1).

Таблица 1

Параметры продукционного процесса агроэкосистем ярового ячменя в фазу «выход в трубку - колошение»

Масштаб / Объект	**Квантовый выход α, моль CO_2 моль$^{-1}$ фотонов**	**Фотосинтетическая емкость β, мкмоль CO_2 м$^{-2}$ с$^{-1}$**	**GPP:Reco**	**eCUE**
Москва, 2013 г.	0,050	31,2	1,62	0,38
Москва, 2016 г.	0,104	38,7	1,17	0,15
Москва, 2023 г.	0,115	15,5	1,02	0,02
Высокопродуктивная зона, 2023 г.	0,095	24,1	1,10	0,09
Низкопродуктивная зона, 2023 г.	0,095	23,9	1,06	0,06

Переход к фазово-специфическому подходу позволяет объяснить и пространственную гетерогенность поля. В 2023 году в фазе колошения фотосинтетическая мощность в низкопродуктивной зоне (β = 24,26) оказалась временно выше, чем в высокопродуктивной (β = 16,69). С позиции температурных моделей обе зоны получили одинаковые суммы активных температур. Однако фактически наблюдалось фенологическое «запаздывание»: растения в зонах с угнетенной биомассой достигали пика вегетативного развития позже, тогда как на высокопродуктивных участках уже началось перераспределение ассимилятов в репродуктивные органы и снижение β.

Использование фазово-специфической параметризации обеспечило высокую точность аппроксимации внутрисезонной динамики продукционного процесса (R^2 для GPP составил 0,93, для NEE — 0,81), чего невозможно достичь в моделях, опирающихся исключительно на сумму активных температур.

Заключение. Дискретные фенологические фазы определяют глубокую структурно-функциональную перестройку растений. Опора исключительно на сумму активных температур (САТ) приводит к сглаживанию этих переходов и ошибкам в оценке реакции посевов на стресс.

Дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил высокую значимость фактора онтогенеза, т.к. фенофазы объясняют 13,2% дисперсии углеродного обмена ярового ячменя.

Использование фазово-специфической параметризации потоков CO_2 позволяет не только повысить точность моделей (R^2=0,93 для GPP), но и выявить скрытые эффекты «фенологического запаздывания» на неоднородных участках поля, где традиционные температурные индексы одинаковы для всей площади.

Библиографический список

1. Александров, Н. А. Оценка пространственного варьирования индекса Soil-Plant Analysis Development (SPAD) и его влияние на продукционный процесс агроэкосистем / Н. А. Александров [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2025. – № 4. – С. 12–17.

2. Бурба, Г. Г. Метод турбулентных пульсаций: краткое практическое руководство / Г. Г. Бурба. – Москва : ИПЭЭ им. А. Н. Северцова РАН, 2016.

3. Замолодчиков, Д. Г. Современные изменения углеродного баланса наземных экосистем / Д. Г. Замолодчиков // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. – Т. 2. – С. 21–48.

4. Куричева, О. А. RuFlux: сеть станций микрометеорологических измерений экосистемных потоков парниковых газов в России / О. А. Куричева [и др.] // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 4. – С. 512–535.

5. Мешалкина, Ю. Л. Пространственный анализ данных в почвоведении и экологии / Ю. Л. Мешалкина, А. М. Ярославцев. – Москва: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016.

6. Kljun, N. A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP) / N. Kljun [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2015. – Vol. 8, № 11. – P. 3695-3713.

7. Lasslop, G. Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach / G. Lasslop [et al.] // Global Change Biology. – 2010. – Vol. 16, № 1. – P. 187-208.

УДК 574.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННЫХ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ CO_2 и CH_4 В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА (НА ПРИМЕРЕ ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА)

Идриссу Абдулайе Аднан, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, adnaneabdoulaye31@gmail.com*
Научный руководитель: *Иван Ивановичч Васенев**,** заведующий кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, vasenev@timacad.ru*

Аннотация: *В статье приведены данные о почвенных потоков CO_2 и CH_4 в условиях лесных экосистем Московского мегаполиса Лесной Опытной Дачи. Проведены наблюдения за почвенными потоками CO_2 и CH_4 на пяти типичных вариантах склонового мезорельефа с оценкой динамики основных абиотических факторов, влияющие на изменчивость и интенсивность парниковых газов.*

Ключевые слова: *парниковый газ, мезорельеф, абиотический фактор.*

Введение. К приоритетным проблемам современной экологии относятся глобальные изменения климата, ускоренно развивающиеся в XXI веке на фоне быстро растущей концентрации парниковых газов в атмосфере [1, 2].

Почвы являются важным компонентом биосферы, в том числе в круговороте углерода. Они являются одновременно источником и поглотителем парниковых газов, что зависит от множества факторов, включая тип почвы, ее физико-химические свойства, температуру, влажность, и также антропогенное воздействие [3,7].

Крупнейшим мегаполисом Европы является Москва. Она характеризуется высоким уровнем антропогенной нагрузки на почвы и развитой системой природоохранного зеленого каркаса с крупными массивами городских лесов и лесопарков [4,6].

Особое место в природоохранной инфраструктуре Москвы занимает Лесная Опытная Дача Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. На ее территории сохранились наиболее близкие региональным фоновым объектам северной части Москвы [5,6].

Целью работы является проведение комплексных почвенно-экологических мониторинговых исследований с анализом факторов пространственно-временной изменчивости почвенной эмиссии CO_2 и CH_4 в условиях фоновых экосистем представительной для природоохранного лесного каркаса северной части Московского мегаполиса Лесной Опытной Дачи.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Экологический мониторинг сезонной динамики почвенных потоков CO_2 и CH_4 с использованием напочвенных экспозиционных камер, и высокочастотного мобильного

газоанализатора и газового хроматографа в условях пяти представительных фоновых экосистем Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

2. Сравнительная оценка влияния основных экологических факторов на почвенные потоки парниковых газов CO_2 и CH_4 в условиях представительных для северной части Московского мегаполиса фоновых экосистем Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Основные объекты исследования. Лесная Опытная Дача находится в северном административном округе города Москвы и составляет юго-западную часть землепользования университета. Для почвенно-экологических мониторинговых исследований использовались пять ключевых участков, заложенных в основных формах мезорельефа по трансекте с северо-востока на юго-запад Лесной Опытной Дачи: Подошва северо-восточного склона (ПСВ); Средняя часть северо-восточного склона (ССВ) ; Водораздельная часть мореного холма (ВМХ); Средняя часть юго-западного склона (СЮЗ) ; Подошва юго-западного склона (ПЮЗ).

Эмиссия CO_2 и CH_4 с поверхности почвы измерялась в течение двух полевых сезонов (2015-2016гг.) с января по декабрь включительно (1 раз в 10 дней), методом напочвенных экспозиционных камер.

Результаты и обсуждение. Особенности почвенно-климатических условий лесных экосистем Московского мегаполиса оказывают влияние на эмиссию углекислого газа. На протяжении всего двух полевых сезонов (с января по декабрь) и по годам наблюдений (2015-2016гг.) поток CO_2 с поверхности почв был неравномерным (рис.1). В 2015 году исследования характеризуются очень высоким динамики почвенных потоков углекислого газа с минимальными значениями в начале января на 3 г $CO_2/м^2$ в сутки $CO_2/м^2$ в сутки и в конце декабря на 3,4 г $CO_2/м^2$ в сутки и максимальными значениями от 26 г $CO_2/м^2$ в сутки в третьей декаде июня до 38,5 г $CO_2/м^2$ в сутки во второй декаде июня.

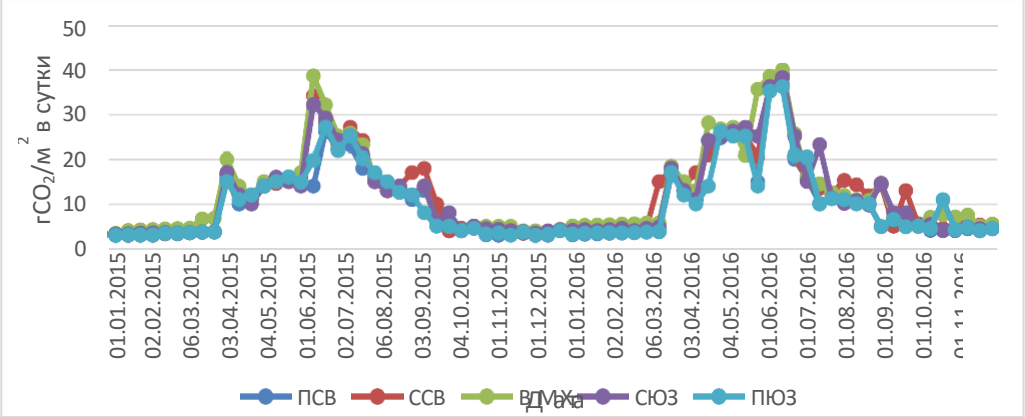


Рис. 1 Сезонная динамика потоков углекислого газа на исследуемых участках в 2015-2016 гг.

Исследования показали различия в сезонной динамике почвенных потоков углекислого газа изучаемых ключевых участков. За первые 3 месяца (января 2015 г. - февраля 2015 г. – марта 2015 г.) наблюдения отмечаются минимальные значения почвенных потоков CO_2 исследуемых почв. в период с марта 2015 г. до первой декады апреля 2015 г., затем отмечается повышение почвенных потоков CO_2 . Со первой декады апреля 2015 г. потоки опять снижается. В мае, идет увеличение потоков. С первой декады июня 2015 г. по вторую декаду июня 2015 г. наблюдается резко повышения почвенных потоков после которого уже с со второй декады июня по третьей декады сентября 2015г. отмечается снижение почвенных потоков. За последнвые 3 месяца (октябре 2015 г. - ноября 2015 г. – декабре 2015 г.) наблюдения отмечаются минимальные значения почвенных потоков CO_2 исследуемых почв. Максимальная почвенная эмиссия наблюдалась на всех ключевых участках в период с июня по август. Максимальные значения почвенной эмисссии в данный период наблюдались на (ВМХ) в июне и составили 38,5 г CO_2 $м^2$/ в сутки. Минимальные значения почвенной эмисссии

были отмечены в большинстве представительных объектов в декабре и изменялись в пределах от 3 - 3,4 г $CO_2/м^2$ в сутки.

Основные закономерности в 2016 году отличаются максимальной эмиссией CO_2 большинством представительных объектов в июне-июле с последующим снижением потоков к концу декабря 2016. Максимальная почвенная эмиссия наблюдалась на всех ключевых участках в летний период. Максимальные значения почвенной эмисссии в данный период наблюдались на (ВМХ) в июле и составили 39,88 г CO_2 $/м^2$ в сутки. Минимальные значения почвенной эмисссии были отмечены в большинстве представительных объектов в зимний период и колебались в пределах от (3,1 - 4,1) $г/м^2$ в сутки.

Проведенные в течение двух полевых сезонов синхронизированные подекадные наблюдения за почвенными потоками углекислого газа на пяти типичных вариантах склонового мезорельефа с одновременным измерением температуры и влажности верхнего горизонта почвы в условиях фоновых экосистем представительной для природоохранного лесного каркаса северной части Московского мегаполиса Лесной Опытной Дачи позволили оценить влияние на эти потоки, температуры и влажности почвы (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость почвенных потоков углекислого газа от влажности и температуры почвы

Год	Сезон	Эмиссия CO_2	Влажность почвы, %	R_W	Температура почвы, С°	R_T
2015	Зима	3,57	41,71	0,35	1,18	0,8
	Весна	11,18	35,64	0,25	8,05	0,78
	Лето	19,87	22,92	0,3	16,76	0,9
	Осень	7,37	35,25	0,2	9,88	0,82
2016	Зима	4,65	42,26	0,37	1,5	0,8
	Весна	14,59	37,45	0,29	8,24	0,79
	Лето	22,36	23,83	0,32	17,89	0,91
	Осень	8,11	35,83	0,24	11,98	0,81

Доминирующим фактором сезонной динамики почвенной эмиссии CO_2 является температура верхнего горизонта почвы: корреляция с ней варьирует в различные периоды от 0,78 (Весна 2015 года) до 0,91 (Лето 2016 года). Зависимость почвенных потоков углекислого газа от влажности гораздо меньше и варьирует от 0,20 (Осень 2015 года) до 0,37 (зима 2016 года).

В случае сезонной динамики почвенных потоков CH_4 преобладает сток, интенсивность которого, как правило, на 3 порядка ниже почвенной эмиссии CO_2. Проведенные в течение двух полевых сезонов синхронизированные подекадные наблюдения за почвенными потоками CH_4 на пяти типичных вариантах склонового мезорельефа с одновременным измерением температуры и влажности верхнего горизонта почвы в условиях фоновых экосистем представительной для природоохранного лесного каркаса северной части Московского мегаполиса Лесной Опытной Дачи позволили оценить влияние на эти потоки, температуры и влажности почвы (таблица 2).

Таблица 2

Зависимость почвенных потоков CH_4 от влажности и температуры почвы

Год	Сезон	Эмиссия CH_4	Влажность почвы,%	R_W	Температура почвы, С°	R_T
2015	Зима	0,11	41,71	0,65	1,18	0,23
	Весна	0,09	35,64	0,6	8,05	0,14
	Лето	0,03	22,92	0,65	16,76	0,12
	Осень	0,05	35,25	0,7	9,88	0,25
	Зима	0,07	42,26	0,65	1,5	0,35
	Весна	0,01	37,45	0,74	8,24	0,3

2016	Лето	0,08	23,83	0,7	17,89	0,2
	Осень	0,06	35,83	0,75	11,98	0,18

Основным фактором, определяющим сезонную динамику почвенных потоков CH_4 является влажность почвы: корреляция с ней в различные периоды наблюдений варьируется от 0,60 (весна 2015) до 0,75 (осень 2016). Зависимость почвенных потоков CH_4 от температуры почвы гораздо слабее и варьируется от 0,12 (лето 2015) до 0,35 (зима 2016).

Выводы.

1. Проведенные исследования почвенных потоков CO_2 и CH_4 пяти типичных вариантах склонового мезорельефа в условиях фоновых экосистем представительной для природоохранного лесного каркаса северной части Московского мегаполиса Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показали характерную для них значительную пространственную дифференциацию потоков парниковых газов.

2. Проведенные исследования представительных для северной части Московского мегаполиса фоновых лесных экосистем показали характерную для них значительную пространственную дифференциацию почвенной эмиссии CO_2.

3. Доминирующим фактором сезонной динамики почвенной эмиссии CO_2 является температура верхнего горизонта почвы: с преобладанием локализованных для основных вариантов форм мезорельефа значений положительной корреляции. Зависимость почвенных потоков углекислого газа от влажности гораздо меньше.

4. Доминирующим почвенным потоком CH_4 в условиях исследованных экосистем является сток, интенсивность которого, как правило, на 3 порядка ниже почвенной эмиссии CO_2.

5. Основным фактором, определяющим сезонную динамику почвенных потоков CH_4 является влажность почвы: с преобладанием локализованных для основных вариантов форм мезорельефа значений положительной корреляции при высокой пространственной дифференциации.

Библиографический список

1. Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О. Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO_2 и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_419.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202124419.

2. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). – Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. P. 3−32

3. Байтурина Р. Р., Салимьянова Л. Р. Показатели почвенного газообмена в парковых насаждениях и зеленой зоне г. Уфы // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (81). С. 72-81. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_72-81.

4. Андреева И.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б., Васенёв И.И. Сравнительная оценка экологического состояния лесопарковых зон Тимирязевского района города Москвы [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 6 (48). – Ст. 21. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/ 2021 /6/st_630.pdf

5. Дубенок Н.Н. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии /В.В. Кузьмичев, А.В. Лебедев; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: Наука, 2020. – 382 с. – ISBN 978-5-02-040248-5.

6. Мосина, Л. В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях

мегаполиса Москва: специальность 03.00.16: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Мосина Людмила Владимировна. – Москва, 2002. – 456 с. – EDN QDWLPR.

7. Описание фитоценозов с оценкой биомассы на различных сукцессионных стадиях развития лесной экосистемы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника / М. В. Тихонова, М. Т. Спыну, Н. А. Александров [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136627. – EDN DZQQYB.

УДК 504.06

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Безруких Алексей Игоревич, Аспирантанов Иван Иванович, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, abezrukih@list.ru*
Научный руководитель: *Мосина Людмила Владимировн**а,** д. б. н., профессор кафедры экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»*

Аннотация: *В статье рассмотрены особенности воздействия рекреационной нагрузки на лесную экосистему на примере Лесной опытной дачи РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Проведён комплексный анализ дорожно-тропиночной сети, рельефа, почвенных характеристик и состояния древесной растительности. Использованы методы геоинформационного анализа, статистической обработки данных и машинного обучения. Установлено, что рекреационная нагрузка является ключевым фактором трансформации почвенного покрова и структуры растительности. Показано, что изменения носят нелинейный и пространственно неоднородный характер.*

Ключевые слова: *рекреационная нагрузка, лесная экосистема, уплотнение почвы, ГИС, биоразнообразие, дорожно-тропиночная сеть.*

Введение

Рациональное использование природных ресурсов и обеспечение устойчивости экосистем являются ключевыми задачами современного природопользования. В условиях урбанизации лесные территории выполняют важные экологические функции, включая климаторегуляцию, депонирование углерода и рекреационное обслуживание населения [1, 2].

Рекреационное использование лесов сопровождается комплексом негативных воздействий, среди которых основными являются уплотнение почвы, деградация напочвенного покрова и нарушение структуры растительных сообществ [3]. В условиях мегаполисов данные процессы усиливаются высокой посещаемостью территорий и развитием дорожно-тропиночной сети.

Современные исследования показывают, что для оценки состояния экосистем необходимо применять комплексный подход, включающий геоинформационные технологии, дистанционное зондирование и методы математического моделирования [4–7].

Целью исследования является оценка влияния рекреационной нагрузки на состояние лесной экосистемы с использованием геоинформационных и статистических методов.

Объект исследования

Объектом исследования является Лесная опытная дача РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева — уникальный природно-антропогенный комплекс с длительной историей наблюдений, расположенный в пределах городской агломерации Москвы.

Методы исследования

В работе использованы следующие методы:

- геоинформационный анализ (QGIS);
- дистанционное зондирование и картографирование;
- полевые методы (пенетрометрия, лесная таксация);
- статистические методы (корреляционный анализ, критерии Манна–Уитни, χ^2, Спирмена);
- методы машинного обучения (Random Forest).

Результаты исследования.

Дорожно-тропиночная сеть

Установлено, что плотность дорожно-тропиночной сети за последние десятилетия увеличилась в 1,5–2 раза. Максимальная концентрация троп наблюдается вблизи входных зон и рекреационной инфраструктуры.

Развитие сети сопровождается:

- уплотнением почвы;
- деградацией травянистого покрова;
- ухудшением состояния древостоя.

Уплотнение почв

На участках с высокой рекреационной нагрузкой плотность почвы достигает 1,2–1,4 г/см³, что соответствует критическим значениям [3].

Корреляционный анализ показал:

- положительную связь плотности с нагрузкой ($r = 0,81$);
- отрицательную связь с влажностью ($r = –0,72$).

Состояние древесной растительности

Средние показатели состояния древостоя не демонстрируют значимых различий между участками, однако наблюдается:

- увеличение доли ослабленных деревьев;
- рост вариабельности показателей;
- снижение биоразнообразия.

Таблица 1

Результаты расчетов по пробным площадям

ПП	Шеннон (H)	Симпсон (D)
6	1.47	0.74
8	1.55	0.77
9	1.32	0.69
7	1.38	0.67
10	1.41	0.71
11	1.29	0.65

Анализ индексов Шеннона и Симпсона показал снижение устойчивости экосистемы на участках с высокой нагрузкой.

Статистический анализ

Критерии Манна–Уитни и χ^2 не выявили статистически значимых различий ($p > 0,05$), однако обнаружены структурные изменения распределения показателей.

Коэффициент Спирмена ($rs \approx 0,09$) свидетельствует об отсутствии простой линейной зависимости между плотностью почвы и состоянием деревьев.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о нелинейном характере деградации экосистем под воздействием рекреации

[2, 5].

Отсутствие статистически значимых различий при наличии структурных изменений указывает на:

- сложный многофакторный характер процессов;
- пространственную неоднородность воздействия;
- ограниченность классических статистических методов.

Использование геоинформационных технологий позволяет учитывать пространственные закономерности, а методы машинного обучения — выявлять скрытые зависимости [6].

Выводы

1. Рекреационная нагрузка является ключевым фактором трансформации лесной экосистемы.
2. Дорожно-тропиночная сеть выступает основным индикатором антропогенного воздействия.
3. Уплотнение почвы приводит к нарушению водного режима и деградации растительности.
4. Изменения экосистемы проявляются преимущественно в структуре, а не в средних значениях.
5. Для анализа сложных природных систем необходим комплекс методов, включая ГИС и машинное обучение.

Библиографический список

1. Мосина, Л. В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москва: специальность 03.00.16 : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Мосина Людмила Владимировна. – Москва, 2002. – 456 с. – EDN QDWLPR.
2. Monitoring and assessing anthropogenic influence on soil's health in urban forests: The case from Moscow City / E. A. Dovletyarova, V. I. Vasenev, K. V. Ivashchenko [et al.] // Adaptive Soil Management: From Theory to Practices, 2017. – P. 531-557. – DOI 10.1007/978-981-10-3638-5_24. – EDN DVNTVX.
3. Accumulation of biogenic metals in the plants of urbanised ecosystems in the city of Kaliningrad / G. N. Chupakhina, P. V. Maslennikov, L. N. Skrypnik [et al.] // Research Journal of Chemistry and Environment. – 2017. – Vol. 21, No. 1. – P. 9-17. – EDN YUXXUT.
4. Экологическая оценка состояния древостоя на территории природно-исторического парка «Царицыно» / М. В. Тихонова, А. В. Бузылев, Я. С. Жигалева [и др.] // Тимирязевский биологический журнал. – 2024. – № 3. – С. 52-60. – DOI 10.26897/2949-4710-2024-2-3-52-60. – EDN XNWJSA.
5. Функционально-экологическая оценка и моделирование транспирации древостоя лесной экосистемы в условиях Москвы по данным IoT-систем мониторинга / И. А. Серегин, Н. П. Шабанова, Р. Н. Оспищев [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136611. – EDN UJFSMG.
6. Описание фитоценозов с оценкой биомассы на различных сукцессионных стадиях развития лесной экосистемы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника / М. В. Тихонова, М. Т. Спыну, Н. А. Александров [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136627. – EDN DZQQYB.
7. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Динамика лесного фонда ЛОД // Известия ТСХА. 2018. № 4. С. 5–19.

УДК: 631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ФОСФОГИПСА И КОМПОСТА НА УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС ПОЧВ В МОДЕЛЬНЫХ ГАЗОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ И МЕЖСЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЕГО КОМПОНЕНТОВ

Васенев Петр Иванович, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А, Тимирязева, petervas08.08.1992@gmail.com*
Никитенко Антон Михайлович, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А, Тимирязева*
Научный руководитель: *Морев Дмитрий Владимирович**,** доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А, Тимирязева*

Аннотация*: Антропогенное воздействие приводит к деградации дерново-подзолистых почв, особенно в мегаполисах в условиях высокой рекреационной нагрузкой. Исследование направлено на оценку последействия мелиорантов на экоситемные сервисы и стабилизацию углеродного баланса антропогенно-нарушенных дерново-подзолистых почв в рамках опыта с газонными экосистемами.*

Ключевые слова: *фосфогипс, компост, углеродный баланс, дерново-подзолистая почва, газонные экосистемы, почвенная эмиссия CO_2, биомасса.*

Актуальность. Повышенная интенсивность и продолжительность весенних и летних осадков часто приводит к увеличению поверхностного стока, ускоренной эрозии и потере гумуса из верхних уплотненных горизонтов антропогенно деградированных почв. Последующие засушливые периоды, которые становятся более продолжительными, чем раньше, активизируют минерализацию органических веществ и растительных остатков, нарушая баланс органического углерода в верхнем горизонте почвы. Это может привести к дальнейшему ускорению эрозии, особенно на старых пахотных почвах с низким содержанием гумуса на склонах [1]. Ускоренное развитие эрозии часто приводит к резкому снижению плодородия почв и экологических функций, особенно когда они нарушаются в результате строительных и транспортных проектов [2-4]. Это определяет задачи их рекультивации или комплексной мелиорации с элементами биоремедиации.

Целью данного исследования является изучение возможного эффекта использования промышленных отходов производства фосфорных удобрений (фосфогипса) и органических отходов птицеводства (компоста из перепелиного помета) в качестве дешевых мелиорантов для стабилизации углеродного баланса регенерированного горизонта деградированных дерново-подзолистых почв.

Дополнительный интерес к изучению последствий их применения обусловлен проблемой ускоренной деградации газонных экосистем в условиях повышенной рекреационной нагрузки в мегаполисах.

Введение. Газоны играют важную роль в поддержании качества городской среды, но, будучи обычно созданными на торфяно-песчаных субстратах, они характеризуются повышенной неустойчивостью, что требует их регулярного ремонта с обновлением почвенного субстрата [5]. Внесение фосфогипса с компостом может частично снизить ускоренную минерализацию торфа, способствуя образованию стабильных органоминеральных соединений, агрегации почвенных субстратов и стабилизации их экологических функций [6].

Объекты и методы. Микрополевой опыт с газонными экосистемами на эрозионно-деградированной дерново-подзолистой почве с торфо-песчаной смесью (1:3, мощность 15 см). Опытные площадки 2м на 2м. Локализация – агроэкологический стационар РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Варианты:

Контроль; фосфогипс 150, 300 г/м²; компост 200 г/м²; комбинации 450+200, 600+200 г/м². Мониторинг: содержание Corg, влажность, температура; эмиссия CO_2 in situ (PPS EGM-5); биомасса путем скашивания. Данные за 2023–2024 гг. (табл. 1).

Результаты и обсуждения. Сезонная динамика (апрель–сентябрь) в эксперименте по стабилизации углеродного баланса деградированных дерново-подзолистых почв с применением фосфогипса (ФГ) и компоста из перепелиного помета характеризуется следующими аспектами. Мониторинг проводился в 2023–2024 гг. на торфяно-песчаной смеси (1:3, слой 15 см) с газонным травостоем. Варианты: контроль; ФГ 150, 300 г/м²; компост 200 г/м²; комбинации 450+200, 600+200 г/м². Условия 2023: аномально высокие осадки (604–644 мм, май–август, вдвое выше нормы). 2024: типичные, но с общим снижением запасов Corg.

Динамика содержания органического углерода (Corg) в почве (0–6 см). 2024 - Общее снижение запасов Corg во всех вариантах (ΔCorg-s от -401 до -2211 г/м²), но минимальные потери в компост 200 г/м² (-401) и комбинации 450+200 (-746). Контроль: максимальные (-2211). Интерсезонно: переход от накопления (2023) к деградации (2024), с сохранением преимуществ мелиорантов.

Динамика эмиссии CO_2 . 2023: Увеличение интенсивности в большинстве вариантов с мелиорантами (ср. 25–65 г/м²/сут и контроль 45–50). Минимальная динамика и наименьшая эмиссия в компост 200 г/м². Значимое увеличение в ФГ 150 г/м² ($\sum C\text{-}CO_2$ = 1410 г/м²). Комбинации: снижение по сравнению с монопримененением ($\sum C\text{-}CO_2$ 1289–1499 г/м² и контроль 903). Сезонные пики в середине лета из-за осадков.

2024: Общая эмиссия выше ($\sum C\text{-}CO_2$ 1019–2018 г/м²), с максимумом в ФГ 600+200 (2018) и компост 200 (1754). Контроль: 1019. Динамика менее выражена, но мелиоранты сохраняют тенденцию к стабилизации.

Таблица 1.

Результаты оценки углеродного баланса (г/м^2 за сезон) за период апрель – сентябрь 2023, 2024 гг.

Вариант	ΔCorg-s		∑Corg-gr		∑Corg-r		∑C-CO_2,		Total CB	
	2023	*2024*	*2023*	*2024*	*2023*	*2024*	*2023*	*2024*	*2023*	*2024*
Контроль	12	-2211	55	55	17	17	903	1019	-819	-3158
ФГ 150 г/м²	1704	-1234	227	267	68	80	1410	1166	590	-2053
ФГ 300 г/м²	321	-665	83	133	25	40	1110	1840	-680	-2333
К 200 г/м²	1434	-401	267	227	80	68	902	1754	879	-1859
ФГ 450 г/м²+ К 200 г/м²	1733	-746	220	220	66	66	1289	1559	730	-2018
ФГ 600 г/м²+ К 200 г/м²	4	-1083	231	226	69	68	1499	2018	-1195	-2807

Примечание: ΔCorg-s - запасы органического углерода в верхнем дерновом горизонте регенерированной дерново-подзолистой почвы; ∑Corg-gr - в биомассе надземных трав; ∑Corg-r - в биомассе корневых трав; $\sum C\text{-}_{CO2}$ - общий выброс углерода почвой за сезон по данным прямого *измерения потоков*$CO2_{\text{в почве in situ.}}$

Динамика накопления биомассы. 2023: Надземная биомасса: >4-кратное превышение контроля в ФГ 150, компост 200, комбинациях (∑Corg-gr 220–267 г/м² и 55 в контроле; корневая – 66–80 и 17). Рост выражен в середине сезона.

2024: Аналогичные тенденции: биомасса выше в оптимальных (∑Corg-gr 220–267 и 55 в контроле). Интерсезонно: стабильность преимуществ мелиорантов.

Интегральный баланс углерода. 2023: Положительный в оптимальных (+590–879 г/м²), отрицательный в контроле (-819) и высоких дозах (-680–-1195). Различия с контролем: 1409–1698 г/м².

2024: Отрицательный во всех (-1859–-3158), но лучше в оптимальных (различия 1105–1299 г/м²). Сезонная динамика: от накопления (весна-лето) к эмиссии (осень), интерсезонно – ослабление эффекта.

Оптимальные варианты (ФГ 150, компост 200, 450+200) стабилизируют динамику, снижая потери Corg и повышая объём биомассы, несмотря на погодные вариации.

Библиографический список

1. Оценка экологической реакции агроценоза при мониторинговых наблюдениях продукционного процесса злаковых культур / Н. А. Александров, И. А. Серегин, Я. С. Жигалева [и др.] // АгроЭкоИнфо - 2024. - № 6(66). - DOI 10.51419/202146640. - EDN ETGYOQ.

2. Эрозия почвы, вызванная строительством, и ее влияние на плодородие почвы и экосистемные услуги А. К. Шарма, Б. Л. Патель Исследование почвы и обработки почвы в 2021 годуhttps://doi.org/10.1016/j.still.2021.106123

3. Транспортная инфраструктура и деградация почв: связь эрозии с потерей органического углерода почвой К. М. Ли, Д. Р. Ким Деградация земель и развитие в 2022 годуhttps://doi.org/10.1002/ldr.1234

4. И.И. Васенев, В.В. Челноков, В.В. Вершинин, Т.Н. Ковалева, А.Н. Глушко, А.С. Макарова, Г.Г. Приоров, В.М. Ретивов, Ю.Е. Васильев, А.В. Матасов. Разработка методологии мониторинга воздействия отходов круглогодичного содержания автомобильных дорог на окружающую среду в рамках серии конференций IOP: Наука о земле и окружающей среде, 663, 1, 012053 (2021)

5. А.С. Щепелева, М.М. Визирская, В.И. Васенев, И.И. Васенев. Анализ запасов углерода и потоков в экосистемах городских газонов московского мегаполиса в Springer Geogr., 80-88 (2019).

6. В.И. Васенев, С. Кастальди, М.М. Визирская, Н.Д. Ананьева, А.С. Щепелева, И.М. Мазиров, К.В. Иващенко, Р. Валентини, И.И. Васенев. Почвенное дыхание городов и его автотрофные и гетеротрофные компоненты в сравнении с прилегающими лесами и пахотными землями в пределах географии Спрингера Московского мегаполиса.18-35. DOI: 10.1007/978-3-319-70557-6_4.

УДК 633.15; 631.41; 519.233.2

ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОД ГИБРИДОМ КОМПЕТЕНС ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ (ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА 2024 Г.)

Васильков Павел Феликсович, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, p.f.vasilkov@yandex.ru*
Научный руководитель ***Мосина Людмила Владимировна,*** *доктор биологических наук, профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Аннотация: *В статье представлены результаты эколого-агрохимической оценки внутрисезонной динамики показателей почвенного плодородия под гибридом кукурузы Компетенс на фоне внесения минеральных удобрений в 2024 году. Мониторинг осуществляли в два срока: 08.07 (фаза активного налива зерна) и 05.08. Сравнивали значения pH солевой вытяжки, содержание органического вещества, подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O). Статистическую значимость различий между сроками оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.*

Ключевые слова: *агроэкологический мониторинг, почвенное плодородие, минеральные удобрения, pH солевой, органическое вещество, подвижный фосфор, обменный калий,*

внутрисезонная динамика, t-критерий Стьюдента, гибрид Компетенс.

Введение. Актуальность экологической оценки почвенных ресурсов при сельскохозяйственном использовании земель определяется необходимостью контроля за сохранением плодородия и предотвращением деградационных процессов [1,2,3]. Внесение минеральных удобрений способно изменять реакцию среды, содержание органического вещества и баланс элементов питания, что в свою очередь влияет на функционирование агроэкосистемы [4,5,6]. В 2024 году программа полевых исследований была сосредоточена на детальном мониторинге гибрида Компетенс, который позволяет получить репрезентативные данные о временной изменчивости агрохимических свойств в течение вегетационного периода [2,7].

Наблюдения в два срока (08.07 и 05.08) показали, что на фоне удобренного варианта содержание доступного фосфора демонстрирует тенденцию к изменению, а реакция среды остаётся стабильной.

Цель исследования. Эколого-агрохимический анализ динамики основных показателей плодородия почвы (pH солевой, органическое вещество, P_2O_5, K_2O) под гибридом Компетенс на фоне внесения минеральных удобрений в 2024 году с оценкой статистической достоверности наблюдаемых изменений по двум срокам отбора (08.07 и 05.08).

Задачи исследования:

1. Провести сравнительный анализ агрохимических показателей почвы в два срока (08.07 и 05.08) с использованием t-критерия Стьюдента для установления степени стабильности почвенной среды в течение вегетации.

2. Количественно оценить направленность и величину изменений содержания подвижного фосфора и обменного калия, pH и органического вещества за период между двумя наблюдениями.

3. Дать экологическую интерпретацию полученным результатам с позиций сохранения плодородия почвы и устойчивости агроэкосистемы, в том числе в контексте выноса элементов питания предшествующим урожаем.

Для оценки внутрисезонной устойчивости агрохимического состояния почвы под гибридом Компетенс на удобренном фоне был проведён сравнительный анализ ключевых показателей плодородия в два срока: в начале активной фазы налива зерна (08.07.2024) и спустя четыре недели (05.08.2024). Сравнение выполняли по t-критерию Стьюдента для независимых выборок; различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$ [2,3,5]. В таблице 1 приведены средние арифметические значения с ошибкой среднего (±), а также расчётные значения t-критерия и соответствующие им достигнутые уровни значимости (p-уровень) [3].

Таблица 1.

Динамика агрохимических показателей почвы в 2024 г. (гибрид Компетенс, вариант с удобрениями)

Показатель	08.07.2024	05.08.2024	t-критерий	p-уровень
pH солевой	7,12 ± 0,20	7,28 ± 0,20	1,42	0,21
Органическое вещество, %	2,5 ± 0,5	2,2 ± 0,4	0,98	0,38
P_2O_5, мг/кг	231 ± 28	285 ± 35	1,89	0,13
K_2O, мг/кг	158 ± 16	175 ± 18	0,67	0,54

Приведённые данные отражают внутрисезонную динамику агрохимических свойств почвы под гибридом кукурузы Компетенс на удобренном фоне в 2024 году. Мониторинг выполнялся в два срока: в начале июля (08.07) и в начале августа (05.08). Оценивались реакция среды (pH солевой), содержание органического вещества, подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O). Статистическая проверка с помощью t-критерия Стьюдента не обнаружила значимых различий между датами ни по одному из показателей ($p = 0,13–0,54$),

что свидетельствует о высокой временной стабильности агрохимического фона в этот критический период вегетации.

Реакция почвенного раствора оставалась нейтральной (pH 7,12–7,28). Концентрация подвижного фосфора продемонстрировала тенденцию к росту от 231 до 285 мг/кг, обменного калия — от 158 до 175 мг/кг, подтверждая однонаправленное положительное действие минеральных удобрений. В то же время уровень P_2O_5 был в среднем на 36–37 % ниже по сравнению с предыдущим годом, что может объясняться выносом урожаем и особенностями минерализации органического вещества. Эти данные характеризуют 2024 год как сезон с устойчивым питательным режимом почвы, не сопровождавшимся подкислением или резкими колебаниями содержания элементов.

Заключение. Статистический анализ внутрисезонной динамики агрохимических показателей почвы в 2024 году под гибридом Компетенс (вариант с удобрениями) не выявил значимых различий между двумя сроками отбора (08.07 и 05.08) ни по одному из изученных параметров. Уровни значимости составили: для pH солевого p=0,21, для органического вещества p=0,38, для подвижного фосфора (P_2O_5) p=0,13, для обменного калия (K_2O) p=0,54. Это подтверждает высокую временную стабильность агрохимического фона в критический период вегетации и свидетельствует об отсутствии резких изменений почвенных свойств под действием применяемой системы удобрений в течение июля – начала августа.

За период с 08.07 по 05.08 отмечено незначительное смещение реакции среды в нейтральную область (от 7,12 до 7,28) и тенденция к повышению содержания P_2O_5 (от 231 до 285 мг/кг) и K_2O (от 158 до 175 мг/кг), что говорит об однонаправленном действии минеральных удобрений, поддерживающем обеспеченность почвы элементами питания. При этом уровень подвижного фосфора в 2024 году оказался в среднем на 36–37 % ниже по сравнению с предшествующим годом, что (хотя и не оценивалось статистически в рамках данного сопоставления) может быть следствием выноса с урожаем и требует учёта при планировании системы удобрений для предотвращения долговременного истощения почвы. В целом применявшаяся агротехнология на гибриде Компетенс в 2024 году не вызвала негативных изменений кислотно-основных свойств и способствовала устойчивому функционированию агроэкосистемы.

Библиографический список

1. Алексеев С.В., Груздева Н.В., Муравьев А.Г. Практикум по экологии. — М.: МДС, 2012.

2. Чекмарев П.А., Фомин В.Н., Турнин С.Л. Влияние удобрений на пищевой режим почвы и химический состав зерна гибридов кукурузы // Земледелие. – 2017. – № 8. – С. 28–31.

3. Берестов И.И., Красильников В.Н., Петров А.С. К вопросу определения достоверности различий средних за ряд лет показателей краткосрочных полевых опытов // Земледелие и растениеводство. – 2022. – № 4. – С. 15–19.

4. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последействие длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства чернозёма обыкновенного // Земледелие. – 2020. – № 5. – С. 10–13.

5. Мосина, Л. В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москва: специальность 03.00.16: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Мосина Людмила Владимировна. – Москва, 2002. – 456 с. – EDN QDWLPR.

6. Оценка экологической реакции агроценоза при мониторинговых наблюдениях продукционного процесса злаковых культур / Н. А. Александров, И. А. Серегин, Я. С. Жигалева [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 6(66). – DOI 10.51419/202146640. – EDN ETGYOQ.

7. Оценка пространственного варьирования индекса soil-plant analysis development (SPAD) и его влияние на продукционный процесс агроэкосистем / Н. А. Александров, О. С.

Латышева, И. А. Серегин [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2025. – № 4. – С. 12-17. – DOI 10.26178/AE.2025.65.41.002. – EDN NGKXPR.

УДК 635.928: 551.58

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОБЕГООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНА И ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ДОБАВОК В ЗАСУШЛИВЫЙ ПЕРИОД 2024 ГОДА

Гвоздь Варвара Константиновна, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, gvozd.v@rgau-msha.ru*

Научный руководитель: *Джанчаров Турмушбек Мурзабекович**,** к.б.н., доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, tdzhancharov@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В условиях засушливого периода 2024 г. на территории Москвы изучено влияние экспозиции склона и внесения перлита с аммиачной селитрой на густоту побегов сеяного газона. Показано, что только совместное применение перлита и азотного удобрения обеспечило максимальную и наиболее стабильную густоту: до 9,5 тыс. шт./м² на северо-западном склоне и около 3,5 тыс. шт./м² на юго-восточном. Раздельное внесение добавок не дало значимого улучшения.*

Ключевые слова: *сеяный газон, продуктивность побегообразования, экспозиция склона, перлит, аммиачная селитра, засушливый период.*

Продуктивность побегообразования служит одним из главных показателей качества и устойчивости газонных травостоев, особенно в неблагоприятных условиях городской среды. Известно, что смешанные газонные травостои отличаются повышенной устойчивостью к засухе, низким температурам и другим стрессовым факторам [1]. Азотные удобрения существенно стимулируют кущение: по данным исследователей, за весенне-летний период количество побегов вариантах без удобрений возрастает на 204 %, достигнув 4,7 тыс. шт./м², а при внесении N_{60} увеличивается на 232 % (до 6,2 тыс. шт./м²) [2]. Дополнительное включение перлита как структуроулучшителя почвы, в том числе в комбинации с минеральными удобрениями, увеличивает темпы побегообразования газонов [3].

Также немаловажное значение имеют агроклиматические факторы. Показано по предшествующим исследованиям, что на вариантах с мелиоративными добавками рост газонов особенно заметно ускоряется при постепенном снижении температуры почвы от 35–32 до 25 °С и одновременном возрастании влажности почвы до 79,67 % [4]. Выявление закономерностей влияния агроклиматических факторов на растительность при использовании различных агроприёмов сохраняет высокую актуальность [5].

Однако практически отсутствуют экспериментальные данные о совместном влиянии экспозиции склона, перлита и азотного удобрения на плотность побегов сеяного газона в засушливый сезон в условиях города. Цель работы – экологическая оценка плотности побегов сеяного газона на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиции в зависимости от применения перлита и аммиачной селитры в засушливый период 2024 года на территории г. Москвы.

Место проведения исследования. Местом проведения исследования послужила Полевая опытная станция Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Территория расположена по адресу: г. Москва, ул. Прянишникова, 37с9 (координаты: 55.837703°, 37.556317. (в условиях 2024 года).

Объект исследования – мелиоративный канал. Предмет исследования – продуктивность побегообразования сеяных газонов на склонах разной экспозиции. Схема полевого опыта включала восемь вариантов в трёхкратной повторности (таблица 1).

Таблица 1

Варианты опыта

№	Экспозиция склона	№ участка	Расшифровка
1	2	3	4
1	юго-восточный	ТУД 2	сеяный газон + гранулированное минеральное удобрение (аммиачная селитра)
2		Т 3	сеяный газон
3		ТП 4	сеяный газон + перлит
4		ТПУД 5	сеяный газон + перлит + гранулированное минеральное удобрение (аммиачная селитра)
5	северо-западный	ТУД 12	сеяный газон + гранулированное минеральное удобрение (аммиачная селитра)
6		Т 13	сеяный газон
7		ТП 14	сеяный газон + перлит
8		ТПУД 15	сеяный газон + перлит + гранулированное минеральное удобрение (аммиачная селитра)

В качестве мелиоративных добавок использовали перлит – вспученную вулканическую породу с высокой пористостью и влагоудерживающей способностью, а также гранулированную аммиачную селитру как источник азотного питания.

Методы исследования. Метеорологические показатели (среднесуточная температура воздуха t^0 С, осадки мм. влажность воздуха %, температура почвы t^0 С) были проанализирован по данным многолетних наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ – МСХА.

Плотность побегообразования (шт/м²). Данный показатель является одним из ключевых при оценке качества газона, поскольку отражает способность травостоя к самовосстановлению, устойчивость к вытаптыванию и общую продуктивность фитоценоза. Газонные травы обладают способностью многократно образовывать многочисленные побеги, то есть куститься. Чем гуще и плотнее травостой, тем он декоративнее и качественнее. Для создания высококачественного и декоративного газона надо использовать хорошо кустящиеся с хорошей интенсивностью побегообразования газонные травы [6].

Определение плотности побегообразования проводилось методом визуального подсчета на газонах числа побегов на стандартной площади 100 см². Для этого использовалась рамка размером 10×10 см, которая накладывалась на травостой в случайно выбранных точках делянки. Подсчитывалось количество вегетативных и генеративных побегов в пределах рамки, после чего производился пересчет на 1 м² путем умножения полученного значения на 100 [3].

Полученные результаты оценивались по 6-балльной шкале, дифференцированной по зональным типам (лесная, лесостепная, степная зоны).

Результаты. На рисунке показана динамика плотности побегов сеяного газона на северо-западном (СЗ) и юго-восточном (ЮВ) склонах в засушливый период 2024 г. Дополнительно отражены осадки за 7 дней перед замером и температура воздуха.

Из-за июльской засухи (температура почвы до +33 °С) на СЗ склоне контроль сохранял умеренную густоту (2,7–3,4 тыс. шт/м²), тогда как на ЮВ склоне она падала до 800-1700 шт/м². Один перлит или одно удобрение лишь незначительно улучшали ситуацию. Наибольшую и самую стабильную плотность на обоих склонах дала комбинация «Перлит + Удобрение»: на СЗ склоне она достигала 9,5 тыс. шт/м², на ЮВ – около 3,5 тыс. шт/м². Перлит удерживал влагу, азот стимулировал кущение, что позволило травостою пережить стресс. Таким образом, в засушливый год только совместное внесение перлита и азотного удобрения эффективно

поддерживает густоту газона, причём на теплообеспеченном склоне экспозиции эта комбинация становится практически безальтернативной.

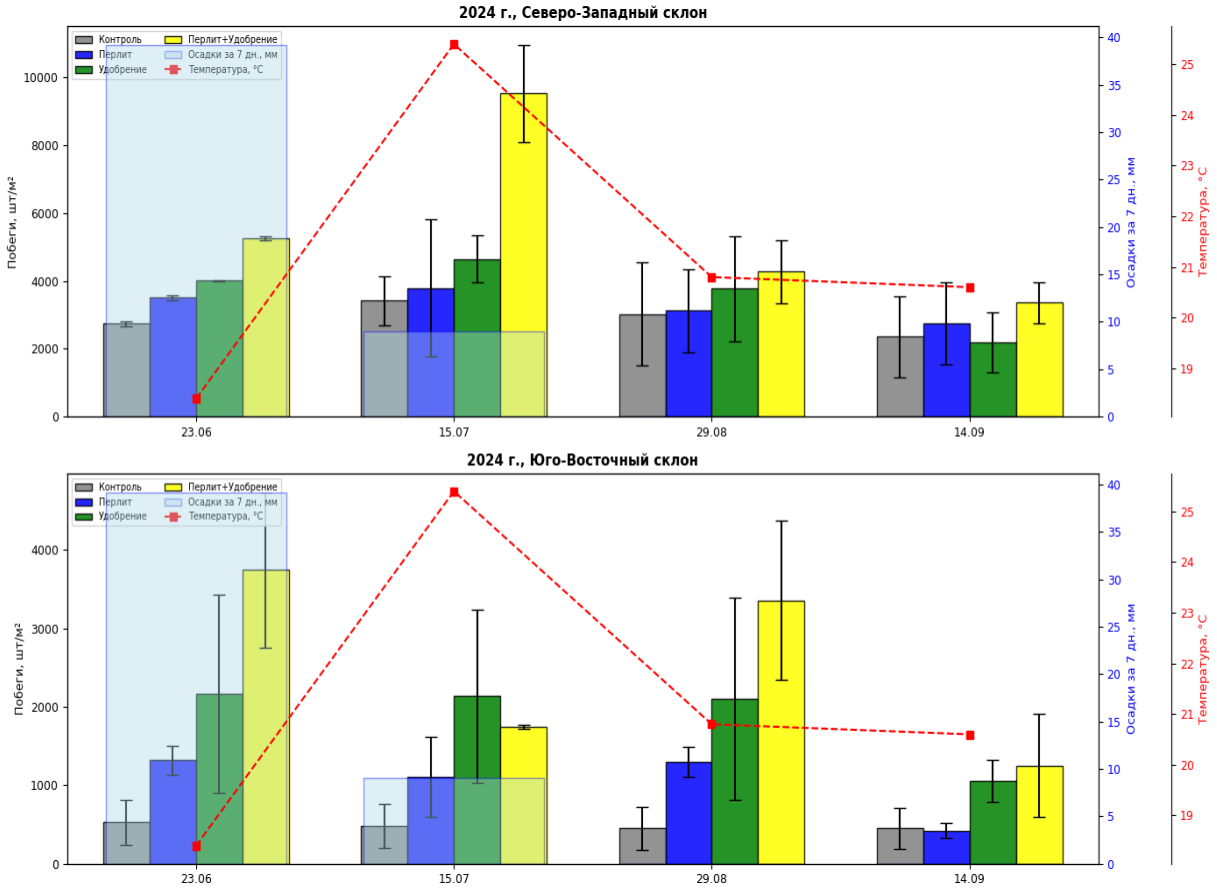


Рис. 1 Продуктивность побегообразования шт/м² в 2024 году в зависимости от экспозиции склона

Наблюдаемое к сентябрю уменьшение густоты побегов не следует рассматривать как ухудшение состояния травостоя. Напротив, оно отражает естественную биологическую регуляцию, препятствующую чрезмерному развитию вегетативной массы перед уходом в зиму. Как показано О.В. Трухан [2], избыточное образование вегетативных побегов и большой листовой массы осенью может отрицательно сказаться на перезимовке и последующем весеннем отрастании. Поэтому снижение плотности побегов в конце вегетационного периода физиологически оправданно и способствует лучшей сохранности газона [2].

Таким образом, в засушливый период 2024 года экспозиция склона стала определяющим фактором продуктивности побегообразования сеяного газона: на юго-восточном склоне густота травостоя в контроле падала до 800–1700 шт./м², тогда как на северо-западном сохранялась на уровне 2,7–3,4 тыс. шт./м². Раздельное внесение перлита или аммиачной селитры не позволило существенно повысить плотность побегов ни на одной из экспозиций. Только совместное применение перлита и азотного удобрения обеспечило максимальную и наиболее стабильную густоту: до 9,5 тыс. шт./м² на северо-западном склоне и около 3,5 тыс. шт./м² на юго-восточном. Наблюдаемое к сентябрю уменьшение числа побегов физиологически оправданно и способствует лучшей перезимовке. Таким образом, в засушливые периоды для поддержания продуктивного газонного покрытия на склонах южной экспозиции необходимо обязательное совместное внесение перлита и азотного удобрения.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта Фонда содействия инновациям, предоставленного в рамках программы «Студенческий стартап» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» по договору № 2473ГССС15-L/90187.

Библиографический список

1. Ерема И.А. Созинов О.В. Газоноведение. – Гродно: ООО «ЮрСаПринт» 2015. – 56 с.
2. Трухан, О. В. Биология семеноводства овсяницы красной (FESTUCA RUBRA L.) // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 5. – С. 35-41. – EDN ONCLNV.
3. Гвоздь В. К., Александров Н. А., Джанчаров Т. М. [и др.] Экологическая оценка качественных характеристик газонных травостоев рулонного типа при использовании различных видов минеральных удобрений и перлита // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции. В рамках Агропромышленного форума юга России: выставок «Интерагромаш», «Агротехнологии», Ростов-на-Дону, 24–26 февраля 2021 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 409-413. – DOI 10.23947/interagro.2021.409-413.
4. Гвоздь, В. К. Экологическое исследование влияния физико- химических показателей почвы на рост сеяных газонов при применении перлита и минеральных удобрений // Агрохимический вестник. – 2025. – № 2. – С. 80-82. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-2-015.
5. Габечая В. В., Андреева И. В., Морев Д. В. Сравнительный анализ лимитирующих функционирование почвенного микробиома факторов при культивировании винограда в условиях Южного берега Крыма и Автономного края Воеводина Республики // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136628.
6. Попова А. С., Тазина С. В. Оценка декоративности газонов (на примере газонов различного назначения на территории РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева) // Проблемы Науки. — 2017. — № 24 (106).

УДК 631.433.3

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОТОКОВ CO_2 НА УЧАСТКАХ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Жигалева Ярослава Сергеевна, *старший преподаватель кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, zhigaleva@rgau-msha.ru*
Научный руководитель - ***Тихонова Мария Васильевна****, доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, tmv@rgau-msha.ru*

Аннотация: *изучена сезонная динамика эмиссии CO_2 с поверхности почвы на участках с различным типом землепользования в условиях выщелоченных черноземов Керенско-Чембарской возвышенности. Показано, что тип землепользования определяет не только интенсивность, но и характер сезонного хода эмиссии CO_2 , что необходимо учитывать при оценке углеродного баланса агроэкосистем.*

Ключевые слова: *эмиссия CO_2, залежные земли, выщелоченные чернозёмы*

Почвенная эмиссия CO_2 является одним из ключевых компонентов глобального углеродного цикла и чутким индикатором интенсивности минерализационных процессов в экосистемах. Изменение типа землепользования, в частности вывод пашни в залежь, её последующее зарастание древесно-кустарниковой растительностью либо возвращение в сельскохозяйственный оборот, существенно трансформирует режим поступления органического вещества в почву и условия его разложения. Это находит прямое отражение в величине и сезонной динамике потоков CO_2 с поверхности почвы. Выщелоченные черноземы Керенско-Чембарской возвышенности, характеризующиеся высоким содержанием гумуса и благоприятными гидротермическими условиями, представляют собой перспективный объект для изучения данных процессов.

Объект исследования располагается на востоке Башмаковского района Пензенской области в окрестностях заброшенного сельского населённого пункта Белозерка и относится к зоне Керенско-Чембарской возвышенности. В районе возвышенности преобладающими типами почв являются средне-выщелоченные и тучные чернозёмы, характеризующиеся высоким плодородием, и, как следствие, большой распаханностью [1, 2].

Изучение эмиссии углекислого газа производилось на 4 ключевых участках:

1 – Старопахотное поле (используемое минимум с 1960-х годов);

2 – Лесополоса возрастом более 50 лет, искусственно выращенная и состоящая из берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), состояние большинства деревьев в ней неудовлетворительное, отмечается много выпавших, больных и поврежденных растений;

3 – Березняк в возрасте около 25 лет, сформировавшийся путем естественного зарастания залежной земли от расположенной рядом лесополосы из берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.);

4 – Поднятая залежь, возвращенная в сельскохозяйственный оборот в 2022 г., до начала исследований данный участок также был покрыт березняком возрастом около 25 лет [3].

Мониторинг эмиссии CO_2 из почвенного покрова осуществлялся на протяжении четырёх вегетационных сезонов (2022-2025 гг.) в тёплый период года (с мая по сентябрь) [4, 5, 6]. Отбор проб эмиссии углекислого газа производился с помощью экспозиционных камер в трехкратной повторности [7]. В дальнейшем в лаборатории производилось определение концентрации CO_2 в пробах воздуха с использованием хроматографа Хроматек Кристалл 2000М с последующим пересчетом показателя в единицы измерения, обусловленные задачами данного исследования (г/м^{2}сутки).

Сезонная динамика потоков CO_2 за вегетационный период 2022-2025 гг. на участках исследования представлена на рисунке 1.

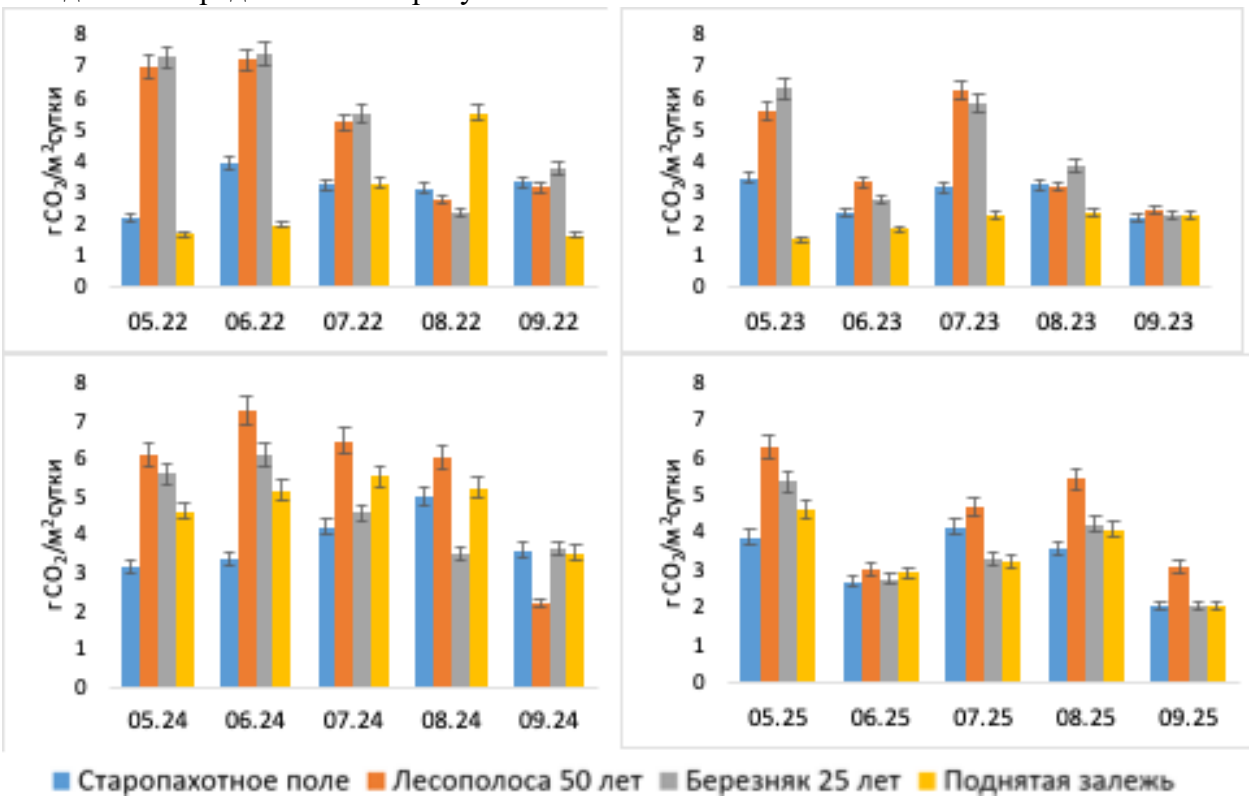


Рис.1 Сезонная динамика потоков CO_2 за вегетационный период 2022-2025 гг. на участках исследования, г CO_2/м^{2}сутки

Наименьшее варьирование показателей эмиссии углекислого газа отмечалось на старопахотном поле, как наиболее устоявшейся экосистеме из исследуемых. Значения потоков CO_2 на данном участке колебались от 2,04 (сентябрь 2025 г.) до 4,99 (август 2024 г.) г

CO_2/м^{2}сутки, что помимо этого является и минимальными значениями эмиссии углекислого газа среди всех участков.

В лесополосе поток углекислого газа из почвы характеризуется значительным варьированием от 2,21 (сентябрь 2024 г.) до 7,28 (июнь 2024 г.) г CO_2/м^{2}сутки. В большинстве измерений за 4 года в лесополосе наблюдались максимальные значения эмиссии CO_2 среди всех исследуемых участков. Предположительно данный процесс обусловлен деградацией лесополосы и увеличивающимся количеством валежа, который не приводит к депонированию углерода в почве, а усиливает процессы эмиссии.

Залежный участок березняка возрастом около 25 лет характеризуется максимальным сезонным варьированием – от 2,05 (сентябрь 2025 г.) до 7,36 г CO_2/м^{2}сутки (июнь 2022 г.). Наибольший поток CO_2 в облесенных участках в период исследований наблюдался в мае-июне, что может быть связано с увеличивающейся активностью микроорганизмов в этот период, разложением прошлогоднего опада и формированием лесной подстилки.

На участке поднятой залежи поток углекислого газа из почвы более равномерный по сезонам и в целом характеризуется более низкими значениями по сравнению с участками лесополосы и 25-летней залежи, приближаясь к показателям эмиссии CO_2 на старопахотном поле. Диапазон значений на данном участке составляет от 1,49 (май 2023 г.) до 5,53 (август 2022 г.) г CO_2/м^{2}сутки.

В целом можно отметить, что для исследуемых участков наиболее равномерным является поток углекислого газа, выделяемый из старопахотного поля, являющегося сложившейся агроэкосистемой. Поднятие залежи также ведёт к более равномерному выделению углекислого газа в атмосферу. Высокие значения эмиссии CO_2 в начале вегетационного периода для 25-летней залежи компенсируются большим варьированием по сезонам и последующим спадом потока. Наиболее же неравномерным по сезонам и выделяющим наибольшее количество CO_2 в атмосферу среди всех исследуемых участков является лесополоса возрастом около 50 лет, с большим количеством вывалов, больных и поврежденных деревьев, являющаяся деградирующей экосистемой.

Библиографический список

1. Бузылев, А. В. Агроэкологическая оценка потенциала использования старопахотных земель с применением it-технологий на основе системы поддержки принятия решений / А. В. Бузылев, Н. А. Александров // Агрохимический вестник. – 2023. – № 6. – С. 84-88.

2. Tikhonova, M. V. Application of DSS in agroecological assessment of the potential of use of chernozem soils in the conditions of the Penza region / M. V. Tikhonova, A. V. Buzylev // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference “Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023” (MSNBAS2023), Moscow, 05–06 декабря 2023 года. Volume 82. – Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. – P. 02004.

3. Жигалева, Я. С. Изменение агрохимических показателей и запасов углерода в почвах при освоении залежных земель на выщелоченных черноземах Пензенской области / Я. С. Жигалева, М. В. Тихонова, А. В. Бузылев // Агрохимический вестник. – 2025. – № 6. – С. 34-38.

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624643 Российская Федерация. Ресурсный потенциал залежных чернозёмов Башмаковского района Пензенской области : заявл. 06.10.2025 : опубл. 22.10.2025 / М. В. Тихонова, Я. С. Жигалева.

5. Dynamics of carbon stock on fallow lands of black soils / M. V. Tikhonova, A. V. Buzylev, Ya. S. Zhigaleva, M. A. Polshina // Caspian Journal of Environmental Sciences. – 2025. – Vol. 23, No. 1. – P. 13-20.

6. Spatially-temporal distribution of moisture content and dynamics of greenhouse gas emissions from upper soil horizons in floodplain fallow lands of Bashmakovsky district of Penza oblast / A. Buzylev, M. Tikhonova, E. Taller [et al.] // 3rd International Conference on Research of

Agricultural and Food Technologies (I-CRAFT-2023) : Research of Agricultural and Food Technologies, Adana, Turkey, 04–06 октября 2023 года. Vol. 85. – Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. – P. 01058.

7. Патент на полезную модель № 243068 U1 Российская Федерация, МПК G01N 1/22. Устройство для измерения эмиссии парниковых газов из почвы и растений : заявл. 12.12.2025 : опубл. 24.04.2026 / А. В. Бузылев, И. И. Васенев, М. В. Тихонова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

УДК 574.4

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРОПИЧЕСКИХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ СУБСТРАТАХ, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МАСЛИЧНОЙ ПАЛЬМЫ (Elaeis guineensis jacq.)

Зулдадан Наспендра, *аспирант кафедры экологии института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, zuldadannaspendra@agr.unand.ac.id.*
Научный руководитель - ***Васенев Иван Иванович,*** *д.б.н., профессор кафедры экологии института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.*

Аннотация: *Исследование оценивает влияние песчаных (PS) и глинистых (PC) субстратов на химию почв и урожайность масличной пальмы в Западной Суматре. Установлено, что торф на глине (PC) обладает более высоким плодородием (выше pH, CEC и доступность нутриентов). Средняя шестилетняя урожайность на PC (23,52 т·га$^{-1}$·год$^{-1}$) на 16,3% превысила показатели на PS (19,68 т·га$^{-1}$·год$^{-1}$). Продуктивность тесно коррелировала с емкостью катионного обмена, содержанием K, Ca, Na и органического углерода. Торф на песках (PS) более склонен к вымыванию нутриентов и деградации. Тип подстилающей породы является критическим фактором для устойчивого землепользования и охраны тропических торфяников.*

Ключевые слова: *торфяные земли; тип субстрата; плодородие почвы; масличная пальма; тропическая экология.*

Введение. Индонезия обладает одной из крупнейших площадей тропических торфяников в мире, составляющей примерно 13,43 млн гектаров [1], что соответствует около 47% мировых запасов тропического торфа [2]. Эти торфяные экосистемы широко распространены на Суматре, Калимантане и Папуа [1]

В тропических условиях торфяные почвы могут формироваться на контрастных подстилающих породах, преимущественно песчаных и глинистых. Свойства субстрата, как ожидается, оказывают влияние на физические, химические и экологические характеристики вышележащих торфяных отложений. Предыдущие исследования показали значительные различия, обусловленные типом субстрата. Так, Адринал и др. [3] сообщили, что гидравлическая проводимость торфа, сформированного на песчаных субстратах, примерно в пять раз выше, чем на глинистых. Аналогично, Наспендра и др. [4] установили, что торф на глинистых субстратах, как правило, характеризуется более высокой степенью разложения (сапрический тип), более низким содержанием волокнистого материала и отличающимися гидрологическими условиями по сравнению с торфом на песчаных субстратах.

Несмотря на достигнутый прогресс, большинство исследований сосредоточено

преимущественно на физических свойствах, тогда как химические характеристики и их экологические и агрономические последствия остаются недостаточно изученными. В частности, взаимосвязь между химическими свойствами торфа, типом субстрата и продуктивностью масличной пальмы (Elaeis guineensis Jacq.) до настоящего времени количественно оценена недостаточно. В связи с этим целью данного исследования является: (i) сравнение химических свойств торфяных почв, сформированных на песчаных и глинистых субстратах; (ii) оценка взаимосвязи между химическими свойствами почвы и продуктивностью масличной пальмы; и (iii) анализ экологических последствий, связанных с различиями торфяников, обусловленными типом подстилающего субстрата.

Материалы и методы. Данное исследование было проведено на плантации масличной пальмы в Западной Суматре, Индонезия. Были выделены две системы торфяников в зависимости от типа подстилающего субстрата: торф на песчаном субстрате (PS) и торф на глинистом субстрате (PC). Каждая система включала три повторности плантационных участков на мелкозалегающих торфяных почвах (<100 см). Возраст насаждений масличной пальмы составлял приблизительно 20 лет. Площадь каждого участка составляла около 25 га (1 000 м × 250 м).

Образцы почвы отбирались из торфяного профиля и подстилающих слоёв субстрата на глубину до 100 см. Отбор проводился с учётом стратификации на поверхностный, подпочвенный и субстратный горизонты. Лабораторные анализы включали определение pH почвы (H_2 O, 1:5), содержания органического углерода, зольности, доступного фосфора, ёмкости катионного обмена (CEC), а также обменных Ca, K и Na в соответствии со стандартными аналитическими методиками.

Продуктивность масличной пальмы оценивалась по данным урожайности свежих плодовых гроздей (FFB) с каждого плантационного участка за шестилетний период (2018–2023 гг.). Средние значения урожайности использовались для характеристики долгосрочной продуктивности. Экологические последствия функционирования торфяных систем оценивались на основе физических и химических свойств почвы с привлечением данных научной литературы.

Для всех почвенных показателей были рассчитаны описательные статистики (среднее значение и стандартное отклонение). Для выявления ключевых переменных, влияющих на вариабельность почвенных свойств и продуктивность, был применён метод главных компонент (PCA) с использованием программного обеспечения SPSS версии 26.

Результаты и обсуждение. Торфяные почвы, сформированные на глинистых субстратах (PC), характеризовались более высоким уровнем плодородия по сравнению с почвами на песчаных субстратах (PS) во всех почвенных горизонтах, хотя некоторые различия не были статистически значимыми. Более высокие значения pH почвы, ёмкости катионного обмена (CEC) и доступности питательных элементов (P, K, Ca, Na) наблюдались в почвах PC (рис. 1).

Эти различия в основном обусловлены свойствами подстилающего субстрата. Глинистые субстраты способствуют удержанию питательных веществ и снижению их вымывания, а также обеспечивают дополнительное поступление минеральных компонентов в процессе формирования торфа. В противоположность этому, песчаные субстраты характеризуются высокой пористостью и преобладанием макропор [3], что усиливает инфильтрацию воды и вымывание питательных веществ. Такие условия также могут изменять микробиологическую активность и ускорять процессы разложения торфа [5] [6].

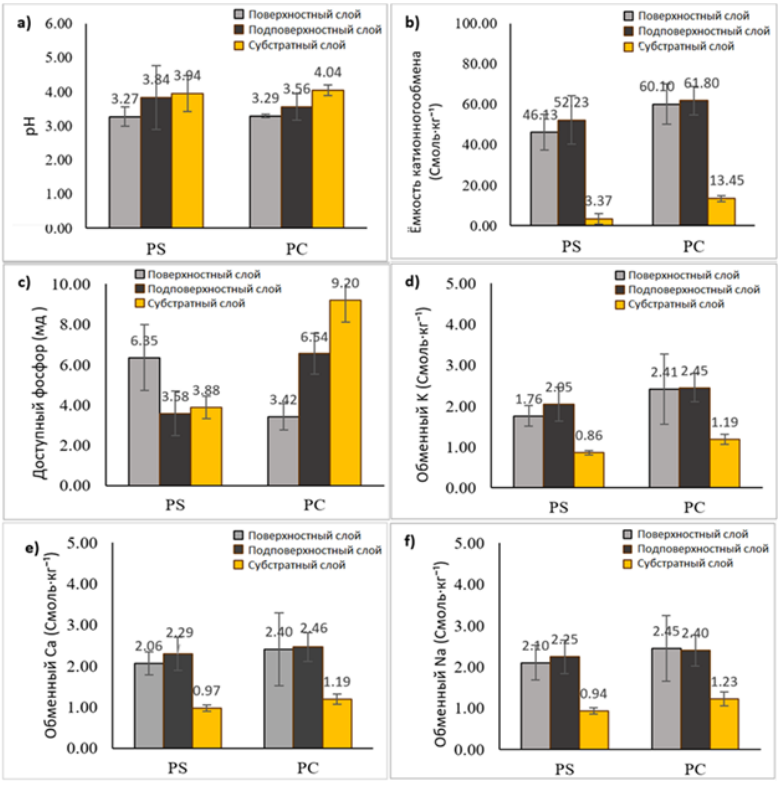


Рис 1. Химические свойства тропических торфяных почв, сформированных на песчаных (PS) и глинистых (PC) субстратах, с указанием различий в распределении по глубине почвенных горизонтов

PS: поверхностный слой (0–20 см), подпочвенный слой (20–44 см) и субстрат (>44 см); PC: поверхностный слой (0–18 см), подпочвенный слой (18–47 см) и субстрат (>47 см).

Как показано в таблице 1, урожайность масличной пальмы ежегодно колебалась как на торфах PS, так и на PC; однако средняя продуктивность стабильно была выше на PC. Разница в урожайности между двумя типами торфа составила 3,84 т·га$^{-1}$·год$^{-1}$, что эквивалентно примерно 16,33%.

Таблица 1

Урожайность свежих плодовых гроздей (FFB) масличной пальмы, выращиваемой на тропических торфяных почвах на песчаных (PS) и глинистых (PC) субстратах в Западной Суматре, Индонезия

Образцы	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**Average**
PS	20.34	20.21	16.99	19.47	20.38	20.71	19.68
PC	23.16	26.11	26.83	21.97	22.72	20.32	23.52

Результаты анализа главных компонент (PCA) показали, что 79,03% общей вариации объясняется двумя главными компонентами. Первая компонента (PC1, 66,23%) была тесно связана с ёмкостью катионного обмена, содержанием обменных K, Na, Ca, органического углерода и волокнистого материала, что указывает на ключевую роль способности почвы удерживать питательные вещества и состояния органического вещества в формировании продуктивности. Вторая компонента (PC2, 12,80%) в основном была связана с доступным фосфором (табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что продуктивность масличной пальмы в первую очередь определяется способностью почвы удерживать питательные вещества и качеством органического вещества, которые, в свою очередь, существенно зависят от типа субстрата.

Таблица 2

Общая объяснённая дисперсия и факторные нагрузки главных компонент по результатам анализа главных компонент (PCA) характеристик почв торфяников на песчаных и глинистых субстратах

Общая объяснённая дисперсия		
Компонента	Собственное значение (% дисперсии)	Накопленный процент (%)
PC1	66.234	66.234
PC2	12.799	79.033
PC3	8.869	87.902
PC4	6.816	94.718
PC5	2.979	97.697
PC6	1.403	99.100
PC7	0.626	99.726
PC8	0.231	99.958
PC9	0.029	99.986
PC10	0.014	100.000
PC11	5.855E-08	100.000
Факторные нагрузки главных компонент		
Переменные	PC1	PC2
Плотность сложения	-0.837	-0.292
Волокнистый материал	**0.914**	-0.253
pH	-0.393	-0.025
Органический углерод	**0.946**	-0.068
Зольность	**-0.946**	0.068
Доступный фосфор	-0.185	0.790
Ёмкость катионного обмена	**0.977**	-0.103
Обменный калий (K)	**0.951**	-0.009
Обменный натрий (Na)	**0.968**	-0.059
Обменный кальций (Ca)	**0.966**	-0.109
Урожайность	0.095	0.796

Торфяники представляют собой потенциально ценный ресурс для сельскохозяйственного освоения, однако одновременно рассматриваются как субоптимальные земли, крайне уязвимые к экологической деградации. Современные подходы к управлению торфяниками, как правило, акцентируют внимание на глубине торфа, степени его разложения, гидрологическом режиме и контроле выбросов углерода [7].

Тем не менее, результаты данного исследования, подтверждённые предыдущими работами [4, 5, 6], указывают на то, что тип подстилающего субстрата играет критически важную роль в определении качества торфяников. Торфяники, сформированные на песчаных субстратах, как правило, характеризуются более низким уровнем плодородия и продуктивности и большей уязвимостью к деградации. Песчаные субстраты выступают в качестве ключевого лимитирующего фактора вследствие их высокой пористости, что усиливает инфильтрацию воды, гидравлическую проводимость и вымывание питательных веществ. Эти условия способствуют ускоренной потере питательных элементов и могут усиливать микробиологическую активность, связанную с разложением торфа, что в долгосрочной перспективе приводит к экологической нестабильности.

В связи с этим тип субстрата должен быть явно учтён в системах управления торфяниками и принятия решений в области землепользования, особенно с целью предотвращения интенсивного сельскохозяйственного освоения экологически уязвимых торфяников на песчаных субстратах.

Заключение. Данное исследование показало, что тип подстилающего субстрата оказывает существенное влияние на химические свойства почвы, продуктивность масличной пальмы и экологическую устойчивость тропических торфяников. Торфяники на песчаных субстратах характеризуются более низким плодородием и меньшей урожайностью по сравнению с торфяниками на глинистых субстратах. Ключевыми почвенными параметрами, связанными с продуктивностью, являются ёмкость катионного обмена, содержание обменных Ca, Na и K, органического углерода, доля волокнистого материала и доступный фосфор. С учётом выявленных различий в агрономической эффективности и экологической уязвимости, тип субстрата должен рассматриваться как один из ключевых критериев при управлении торфяниками и планировании землепользования для обеспечения устойчивого сельскохозяйственного развития и сохранения экосистем.

Финансирование: данное исследование выполнено при поддержке научного финансирования Университета Андалас в рамках программы Riset Dasar, контракт № 53/UN16.19/PT.01.03/Pangan-RDP/2023.

Библиографический список

1. M. Anda, S. Ritung, E. Suryani, M. Hikmat, E. Yatno, A. Mulyani, and R. E. Subandiono, «Revisiting tropical peatlands in Indonesia: Semi-detailed mapping, extent and depth distribution assessment» Geoderma, vol. 402, p. 115235, 2021. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115235.
2. S. Page, J. O. Rieley, and C. Banks, “Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool,” Global Change Biology, vol. 17, pp. 798–818, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x.
3. Adrinal, Z. Naspendra, S. Kasim, N. Jamarun, and V. Sisca, «Analysis of hydraulic conductivity of tropical peat soil on sand and clay substratum in Pesisir Selatan, West Sumatra» Rasayan Journal of Chemistry, vol. 17, no. 4, 2024. doi: 10.31788/RJC.2024.1748913.
4. Z. Naspendra, N. Hijri, R. Awalina, M. Harianti, and H. Hermansah, “The impact of sand and clay substratum types on the properties of tropical peat soils and oil palm (Elaeis guineensis) production,” Journal of Degraded and Mining Lands Management, vol. 12, no. 3, pp. 7817–7828, 2025. doi: 10.15243/jdmlm.2025.123.7817.
5. N. Hijri, Z. Naspendra, M. Harianti, and T. B. Prasetyo, “Laccase activity as an indicator of peat degrading microbes in several types of peatlands use in West Sumatra, Indonesia,” Jurnal Online Pertanian Tropik, vol. 9, no. 1, pp. 65–74, 2022. doi: 10.32734/jopt.v9i1.8636.
6. N. Hijri, M. Harianti, Z. Naspendra, and T. B. Prasetyo, “Aktivitas β-Glukosidase pada beberapa kelas penggunaan lahan gambut tropis di Pesisir Selatan, Sumatera Barat,” Jurnal Solum, vol. 19, no. 1, pp. 15–23, 2022. doi: 10.25077/jsolum.19.1.15-23.2022.
7. R. D’Cruz, Guidelines on Integrated Management Planning for Peatland Forests in Southeast Asia. ASEAN Peatland Forests Project and Sustainable Management for Peatlands Forests Project, Association of Southeast Asian Nations and Global Environment Centre, 2014.

УДК 574.4

АНАЛИЗ СУКЦЕССИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОГЕОЦЕНОЗА В УСЛОВИЯХ ЦЛГПБЗ

Илюшкова Елена Михайловна, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, li060698@yandex.ru*
Научный руководитель - ***Тихонова Мария Васильевна****, и.о. заведующего кафедрой экологии, доцент, к.б.н. ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, tmv@ rgau-msha.ru*

Аннотация. *Статья посвящена анализу изменений функциональных характеристик*

биогеоценоза различных участков на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ) – единственного в Европе массива ненарушенных южнотаежных ельников. Объектами исследования послужили пять разновозрастных участков залежей в урочище «Красное», расположенных вдоль трансекты протяжённостью около 350 метров: от залежи с луговым разнотравьем до ельника неморального возрастом старше 110 лет. Мониторинговые наблюдения проводились в вегетационный период с 2023 по 2025 год. В ходе исследования охарактеризованы состав и структура древесного и травянистого ярусов, оценены степень проективного покрытия и сомкнутости крон, а также запасы органического углерода в метровом слое почвы. Установлено, что по мере увеличения возраста древостоя проективное покрытие травянистого яруса последовательно снижается с 90–95% на луговой залежи до 65–70% в старовозрастном ельнике, а состав доминантов закономерно сменяется от луговых злаков к теневыносливым лесным видам. Наибольшие запасы органического углерода зафиксированы в почве ельника (13,7 т/га), наименьшие — на участке берёзняка 20–25 лет (5,31 т/га). Полученные результаты вносят вклад в понимание закономерностей восстановления растительного и почвенного покрова в условиях южной тайги Центральной России.

Ключевые слова: *оценка древостоя, лесная сукцессия, травянистая растительность, почвенный покров, биологическое разнообразие*

Леса, покрывающие около 32% земной поверхности, на фоне климатических изменений и растущего влияния человека на окружающую среду становятся главным регулятором природных процессов. Особую ценность они представляют для изучения саморегуляции и возобновления экосистем – как естественных, так и измененных деятельностью человека. Приоритетным направлением экологии становится анализ сообществ на разных этапах сукцессии, что позволяет оценивать устойчивость экосистем и сохранность их экологических функций. Эталоном таких исследований в подзоне южной тайги выступает Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник (ЦЛГПБЗ) – единственный в Европе массив ненарушенных южнотаежных ельников, где доминирует ель обыкновенная (*Picea abies (L.) H. Karst.*). Изучение разновозрастных сукцессионных участков на этой территории необходимо для выявления закономерностей восстановления растительного и почвенного покрова в условиях южной тайги Центральной России [1, 2].

Среди заповедников Центральной России особого внимания заслуживает ЦЛГПБЗ, расположенный на стыке Валдайской возвышенности и Каспийско-Балтийского водораздела. Местные природные комплексы отличаются от других регионов Центральной России большей залесенностью и слабой фрагментированностью лесов и болот. Являясь типичным представителем южнотаежной подзоны, заповедник выступает эталоном коренного биогеоценотического покрова моренных ландшафтов центра Русской равнины. Его главная ценность — единственный в Европе массив ненарушенных рубками южнотаежных ельников, который занимает 47% площади и господствует в растительном покрове.

Урочище «Красное» располагается в 4 км от поселка Заповедный, на территории бывшей деревни. Начиная с 70-х годов XIX века на этой территории находилась деревня Староселье, которая заброшена уже более 50 лет. Объекты исследования представляют собой 5 разновозрастных участков залежей (рис. 1):

1. Залежь с луговым разнотравьем;
2. Залежь, заросшая березняком возрастом 20– 25 лет;
3. Залежь, заросшая березняком возрастом 30 – 40 лет;
4. Залежь, заросшая березняком возрастом 60 – 70 лет;
5. Залежь, заросшая ельником неморальным возрастом старше 110 лет.

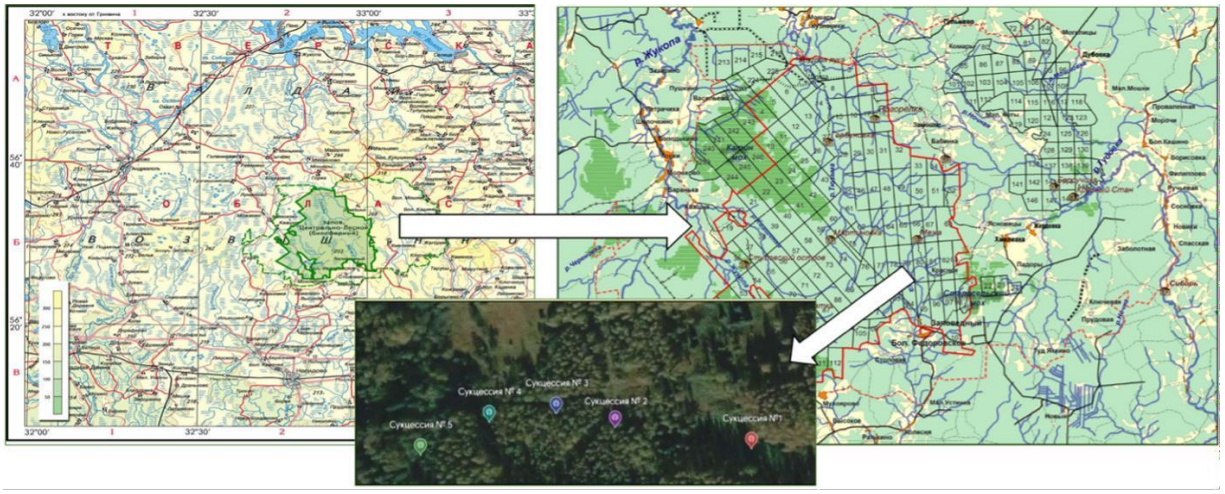


Рис. 1 Географическое расположение объекта исследования

Мониторинговые наблюдения проводились в период с 2023 по 2025 года в вегетационный период с мая по октябрь.

Исследуемая территория характеризуется выраженным мезорельефом с чередованием локальных понижений и повышений в диапазоне абсолютных высот 252 – 266 м. над уровнем моря. Общая протяженность исследуемой трансекты составляет около 350 метров.

Древесная растительность на участке залежи с луговым разнотравьем располагается на границе и представлена березой повислой (*Betula pendula*) и елью обыкновенной (*Picea abies (L.)*). Далее, отмечается смена лугового разнотравья на березняк, возрастом 20 – 25 лет с доминирование следующих древесных пород: береза повислая (*Betula pendula*), осина обыкновенная (*Populus tremula L.*), ель обыкновенная (*Picea abies*) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*) (**5Б2Ос2Е1С**). На залежи, заросшей березняком возрастом 30 – 40 лет, отмечено меньшее количество берёз и большее – осин по сравнению с предыдущим участком (**4Б3Ос2Е1В**). На следующем участке (залежь, заросшая березняком 60 – 70 лет) количество осин увеличилось, тогда как число берёз осталось на уровне предыдущего участка (**4Б4Ос1Е1В**). Заключительный участок (залежь, заросшая ельником неморальным возрастом старше 110 лет) характеризуется доминированием ели обыкновенной в древесном ярусе при незначительном участии берёзы повислой (**7Е2Б1В**) [3].

Характеристика травянистой растительности исследованных участков отражает закономерную смену доминантов и снижение проективного покрытия между объектами [4].

На участке залежи с луговым разнотравьем травянистый ярус развит наиболее мощно: степень проективного покрытия достигает 90–95%. Доминирующими видами выступает овсяница гигантская (*Festuca gigantea*) и мятлик обыкновенный (*Poa trivialis*). Оба вида относятся к семейству Злаков и характерны для влажных луговых залежей с богатыми азотом почвами. На участке берёзняка 20–25 лет доминирует марьяник дубравный (*Melampyrum nemorosum*). В составе основных видов присутствуют вероника лекарственная (*Veronica officinalis*) и кукушкин цвет обыкновенный (*Lychnis flos-cuculi*); проективное покрытие снижается до 80–85%. Примечательно, что марьяник дубравный сохраняет позиции доминанта и на следующей стадии – в берёзняке 30–40 лет. Проективное покрытие на этой стадии составляет 75–80%.

В берёзняке 60–70 лет происходит смена доминанта: лидирующее положение занимает щитовник распростёртый (*Dryopteris expansa*). Проективное покрытие снижается до 70–75%, что отражает общее разреживание травянистого яруса под пологом смыкающегося древостоя. В ельнике неморальном возраста старше 110 лет доминирует хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), а основу травостоя составляют щитовник распростёртый и кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*). Минимальное проективное покрытие на этом участке (65 – 70%) закономерно отражает максимальное затенение под пологом старовозрастного ельника (табл. 1).

Таблица 1

Оценка древесной и травянистой растительности на исследуемых участках

Название участка	**Залежь с луговым разнотравьем**	**Залежь, заросшая березняком, возрастом 20– 25 лет**	**Залежь, заросшая березняком, возрастом 30 – 40 лет**	**Залежь, заросшая березняком, возрастом 60 – 70 лет**	**Залежь, заросшая ельником неморальным, возрастом старше 110 лет**
Формула древостоя	-	5Б2Ос2Е1С	4Б3Ос2Е1В	4Б4Ос1Е1В	7Е2Б1В
Степень сомкнутости крон, %		80 – 85	75 – 80	70 – 75	65 – 70
Плотность насаждений, деревьев на гектар		396	816	916	448
Степень проективного покрытия, %	90 – 95	80 – 85	75 – 80	70 – 75	65 – 70

Результаты оценки древостоя и травянистой растительности позволяют проследить различия между ключевыми участками исследования: по мере увеличения возраста древостоя проективное покрытие травянистого яруса последовательно снижается с 90–95% до 65–70%, а состав доминантов меняется от луговых злаков к облигатным лесным теневыносливым видам.

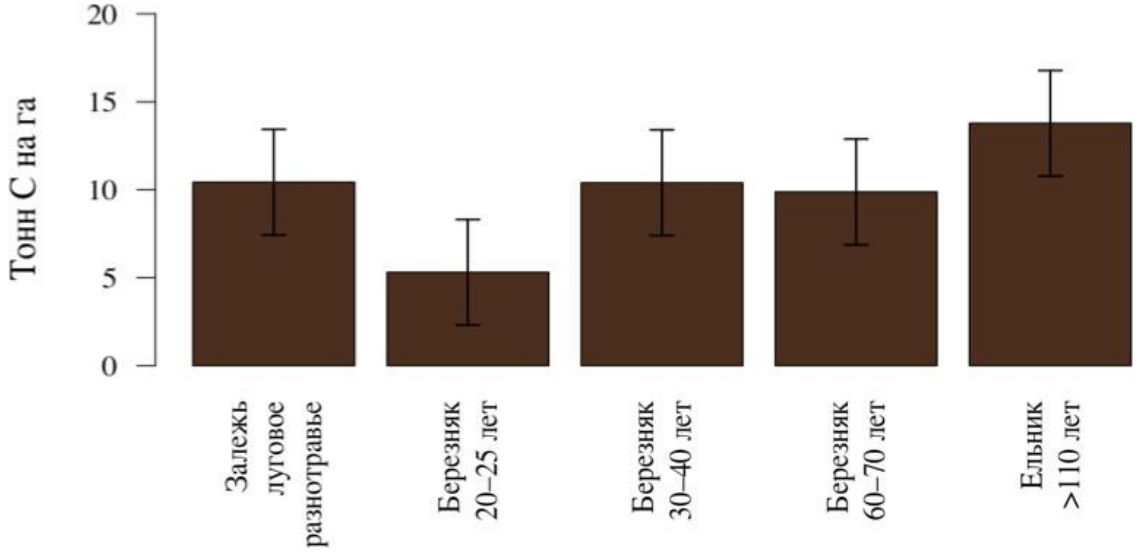


Рис. 2 Запас углерода в метровом слое (0-100 см), т/га на объектах исследования

Диагностика и классификация почвенных профилей позволили выявить преобладающие типы почв, относящиеся к дерново-подзолистым. Они сформировались на различных почвообразующих породах, что обуславливает гетерогенность их гранулометрического состава и структурной организации. По механическому составу среди них чаще всего встречаются легко-, средне- и тяжелосуглинистые разновидности.

Полученные данные о запасах органического углерода в метровом слое почвы (0–100

см) позволяют проследить изменения этого показателя между исследуемыми участками.

Наибольшие запасы углерода зафиксированы на участке залежи, заросшей ельником неморальным возрастом старше 110 лет (13,7 т/га), а наименьшие – на залежи, заросшей березняком возрастом 20 – 25 лет (5,31 т/га) (рис. 2).

Такое распределение объясняется различиями в характере накопления органического вещества. На залежи с березняком возрастом 50–60 лет основное накопление углерода происходит в формирующемся древостое. Для залежи с ельником неморальным, напротив, максимальные значения по всему хронологическому ряду обусловлены накоплением углерода из хвойного опада, разложение которого протекает крайне медленно.

Библиографический список

1. FAO. The State of the World's Forests 2022: Forest Pathways for Green Recovery and Building Inclusive, Resilient and Sustainable Economies. Rome : FAO, 2022. X, 158 p. DOI: 10.4060/cb9360en.

2. Kuznetsova A.I., Lukina N.V., Smirnov V.E., Basova E.V., Bahmet O.N., Gornov A.V., Geras'kina A.P., Ruchinskaya E.V., Gavrilyuk E.A., Danilova M.A., Teben'kova D.N. Biotic Predictors of Carbon Stock Variation in Light-Textured Forest Soils // Biology Bulletin. 2024. Vol. 51, № S3. P. S439–S452. DOI: 10.1134/S1062359024613211

3. Жигалева, Я. С. Экологическая оценка растительного покрова на различных вариантах мезорельефа территории городского леса г. Москвы / Я. С. Жигалева, А. В. Бузылев // Агролесомелиорация и опустынивание : Сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 90-летию Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, 21–23 июля 2022 года / Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук. – Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2022. – С. 308-310. – EDN KEWGET.

4. Жигалева, Я. С. Оценка биологического разнообразия напочвенной растительности в Лесной экосистеме на территории города / Я. С. Жигалева, А. В. Бузылев // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы : материалы II Всероссийской (с международным участием) конференции, приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», Кологрив, 28–29 октября 2021 года / Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный природный заповедник "Кологривский лес" имени М.Г. Синицына". – Кологрив: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный природный заповедник "Кологривский лес" имени М.Г. Синицына", 2021. – С. 187-189. – EDN VSZNSS.

УДК 631.95: 636.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛОЧНОГО КОРОВНИКА В КАЧЕСТВЕ КАМЕРЫ ЗАМЕРА КОНЦЕНТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА МЕТАНА ОТ МОЛОЧНОГО КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Аннотация

Ильянов Станислав Борисович, *аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ilianov99@mail.ru*
Научный руководитель – ***Васенев Иван Иванович****, д.б.н., профессор кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Аннотация. *В процессе жизнедеятельности крупного рогатого скота (КРС)*

происходит выброс метана в атмосферу. Причиной таких выбросов является метаногенез в пищеварительной системе КРС, в отходах в виде навоза, а также в сочных кормах. Основной объем молока во всем мире производится в закрытых системах содержания КРС. В рамках данных систем дойное поголовье находится в беспривязном состоянии в специальных стойлах, а сами коровники в большинстве случаев представляют собой закрытые капитальные помещения с естественной (за счет открытия окон, ворот, дверей) или принудительной вентиляцией, что дает возможность использовать такое помещение как камеру позволяющую изучить структуру, концентрацию и потоки метана от КРС, а также определить влияние различных агроэкологических факторов на эмиссию и концентрацию, что, в том числе, может способствовать разработке мероприятий по снижению выбросов парниковых газов от животноводческих хозяйств.

Ключевые слова: *метаногенез, камера для замера концентрации и потока метана, энтеральный метан, закрытые системы содержания КРС, агроэкологические факторы.*

Введение. Считается, что доля метана составляет около 20% от общемирового вклада всех антропогенных парниковых газов (360–380 млн т CH_4 /год) [1]. При этом выбросы метана от КРС с учетом всего мирового поголовья по разным оценкам составляют в районе 90–110 млн. тонн CH_4 /год, что означает 25-28% от общих выбросов метана [2]. Надо отметить, что в различных официальных источниках статистические показатели уровня выброса метана от КРС варьируются, причем существенно, в зависимости только от таких агроэкологических факторов как пол-возраст животного (корова или иной КРС) и генетика животного (высокопродуктивные коровы или низкопродуктивные). Например, согласно методики Минприроды России от 16.04.2015 N 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации» коэффициент выбросов от внутренней ферментации у коров составляет 109 кг CH_4/год на голову, а у остального скота - 57 кг CH_4/год [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В рекомендациях Межправительственной группы экспертов по изменению климата при Организации объединенных наций (МГЭИК) коэффициент выброса энтерального метана у молочных коров Индийского субконтинента составляет 73 кг CH4/год на голову, а у молочных коров Северной Америки – 138 кг CH_4/год на голову [4]. Влияние иных агроэкологических факторов на уровень выбросов метана от КРС малоизучено и требует дополнительных исследований, что в свою очередь позволит не только провести более корректный подсчет объема выбросов метана от животноводческого сектора, но и возможно разработать механизмы по снижению таких выбросов. К таким иным агроэкологическим факторам можно отнести сезонный (температура и влажность воздуха) фактор, кормовой фактор, управленческий (система содержания) фактор, пространственный фактор (уровень концентрации метана на единицу площади).

Цель исследования: обосновать использование закрытого коровника как камеры для определения концентрации и потока метана от КРС в целях дальнейшего использования данного метода для оценки влияния различных агроэкологических факторов.

Материалы и методы. Период исследования: с 16 декабря 2025 года по 18 января 2026 года. Исследования проводились в молочном коровнике АО «Совхоз имени Ленина» в Московской области.

Коровник «Н»-образной формы состоит из двух частей (северная часть и южная часть) соединенных закрытым переходом с административными помещениями. Размер каждой части: длина 115 метров, ширина 32 метра, двускатная крыша, высота в коньке 10,5 метров (см. рис.1). Вентиляция естественная через торцевые ворота для въезда/выезда кормораздаточной техники (площадь каждых ворот 4,6*3,9=17,94 м²); и через открываемые боковые окна с обеих сторон которые закрываются светопроницаемыми непродуваемыми шторами на холодное время года, но при этом за счет неплотного прилегания шторок

возможно утечки/притоки воздуха (площадь окон с одной стороны 95*0,5=47,5 м²); также через небольшие щели в коньке (конек закрыт светопроницаемыми материалами, но при этом есть щели, через которые возможны утечки/притоки воздуха).

Каждая часть коровника вытянута по длине с северо-запада на юго-восток. Объем каждой части коровника составил:

$$\text{Объем} = (\text{Ширина 32 м} * \text{Длину 115} * \text{высоту 4,15 м}) + \frac{(\text{Ширина 32 м} * \text{Длину 115} * \text{высоту 6,35 м})}{2} = \boldsymbol{26\ 956\ м^3}$$

Освещение днем естественное, в темное время суток за счет электрического освещения (мощность регулируется автоматически, свет на ночь не выключается).

Каждая часть коровника разделена на 4 секции по 52 головы молочной голштинизированной черной-пестрой породы в каждой секции (рис.1). Общее поголовье коровника составляет 416 дойных коров. Содержание беспривязное.

В центре коровника по всей длине проходит кормовой стол. Корм высыпается прямо на бетонный пол. Подбор разбросанного коровами по кормовому столу остатка корма производит робот.

Раздача корма происходит 2 раза /день с переходом на одну раздачу вдень. Раздача кормораздатчиком работающем на дизельном топливе. Доступ к корму у животных круглосуточный.

Поение коров происходит через автоматические поилки.

Сбор навоза производится скреперными установками и далее удаляется в навозоприемник. В каждой части коровника 4 скреперных линии. Между этими линиями на возвышении находится зона отдыха для коров с индивидуальным ковриком и ограничителями. Возраст коров – около 4 лет. В каждой секции стоит робот-дояр фирмы LeLy Astronaut.

Замер концентрации метана проводился в южной части коровника в одной секции в непосредственной близи (0,5 метра) от робота-дояра. Робот находится в торце секции ближе к центру части коровника (см. рис.1).

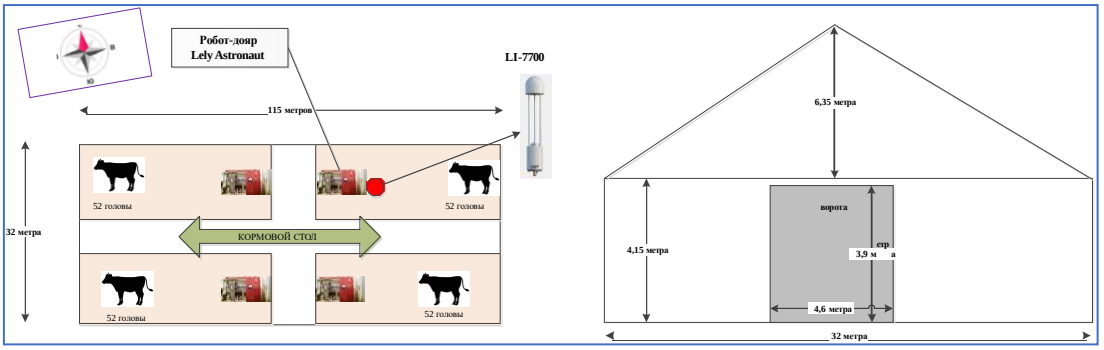


Рис.1 Вид сверху и основные параметры южной части коровника

Замер концентраций метана проводился газоанализатором открытого типа LI 7700 (Li-Cor на метан). Рабочая часть газоанализатора была установлена на высоте 313-363 см. Дополнительная обработка данных с газоанализатора проводилась в MS Excel.

Для визуального контроля за процессами (открывание ворот, раздача кормов, уборка навоза, доение в роботе-дояре) была установлена видео камера IPCAM C6F0SpZ3N0PoL2.

В рамках исследования применялись следующие 4 режима работы коровника в качестве камеры: режим - ворота закрыты (красный), режим - ворота открыты (зеленый), режим - открыты двери в воротах (голубой), режим - открыта половинка ворот в коровник (желтый).

Результаты и обсуждения

Основные условия измерений:

- Температура воздуха на высоте 3,3 м:
  - при открытых воротах в среднем: 3–4 °С,
  - при закрытых воротах в среднем: до 10 °С.

Фактические наблюдения дали следующие данные (см. Таб.1 ниже):

Таблица 1

Средние значения по концентрации метана в разных режимах

Режим	**Обозначение**	**Среднее значение по концентрации метана (ppm)**	**Кол-во временных отрезков (по 30 минут)**
Ворота закрыты	Красный	43,93	401
Дверь в воротах открыта	Голубой	37,54	540
Одна половина ворот открыта	Желтый	39,83	9
Ворота открыты	Зеленый	37,75	161

Наружная температура в исследуемый период приведена ниже (Рис.2):

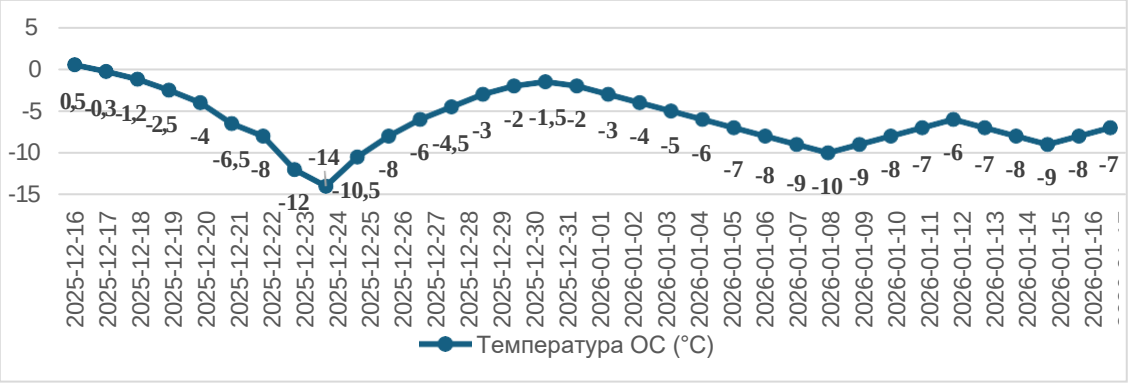


Рис 2. Температура окружающей среды в районе объекта исследования

В рамках исследования единственными **источниками** метана в коровнике были:

- Естественная вентиляция, которая поставляет фоновый метан внутрь помещения
- Пищеварительный процесс коров (энтеральный метан выдыхаемый коровами)
- Анаэробные процессы в производимом коровами навозе
- Анаэробные процессы в раздаваемом коровам сочном корме в течение дня

На протяжении всего периода исследования источники метана в коровнике не изменялись и были постоянными. Согласно открытым данным одна дойная корова выделяет от **100 до 700** г метана в сутки [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Уровень метана от естественной вентиляции снаружи берем около **2,2-2,7** ppm при обычной атмосферной концентрации 2 ppm уже с учетом расположенной в 16 метрах от ворот площадки размером 97х45 метров с сухим навозом (после очистки загонов с сухостоем), а за ней на расстоянии 145 метров и ниже по уровню лагуной размером около 87х47 метров (т.е. увеличение уровня метана на 0,2-0,7 ppm.) Площадки находятся с восточной стороны коровника (т.е. с наветренной стороны).

Пересчёт ppm в мг/м³

Для метана (молярная масса 16 г/моль) при 10 °C: Молярный объём = 22,414 × (283 / 273,15) ≈ 23,2 л/моль = 0,0232 м³/моль

Формула: мг/м³ = (ppm × молярная масса) / молярный объём (л/моль)

Но проще: при н.у. 1 ppm CH_4 = 0,716 мг/м³. Поправка на температуру: 0,716 × (273 / (273 + t)). При 10 °C: 0,716 × (273 / 283) ≈ 0,691 мг/м³ на 1 ppm

Итого: При закрытых воротах: 43,93 ppm × 0,691 ≈ 30,35 мг/м³ (избыток над фоном); При открытых воротах/дверях: 37,6 ppm × 0,691 ≈ 26,0 мг/м³; Фон внутри за счёт вентиляции: 2,5 ppm × 0,691 ≈ 1,73 мг/м³.

Чистый вклад коровника (избыток над фоном): закрытый режим: 30,35 – 1,73 ≈ 28,6 мг/м³; открытый режим: 26,0 – 1,73 ≈ 24,3 мг/м³.

Критический параметр — кратность воздухообмена:

При открытых воротах концентрация падает с 43,9 до 37,8 ppm, т.е. снижается на ~14%.

Естественная вентиляция через конёк, окна, неплотности.

Принимаем типовой для такого коровника воздухообмен при закрытых воротах ≈ 3–5 объёмов/час (для холодного периода). Возьмём 4 1/ч.

Объёмный расход воздуха:

Q = 26 956 м³ × 4 1/ч = 107 824 м³/ч

Массовый поток метана (избыток):

При закрытых воротах:

28,6 мг/м³ × 107 824 м³/ч = 3 084 000 мг/ч = 3 084 г/ч

За сутки:

3 084 г/ч × 24 ч = 74 016 г/сутки ≈ 74,0 кг CH_4 /сутки

На 208 голов:

74 000 г / 208 голов ≈ 356 г CH_4 /голову/сутки

Ниже представлена сравнительная таблица по коэффициентам (таб. 2).

Таблица 2

Сравнительные коэффициенты по потоку метана по молочному КРС

Источник	Коэффициент эмиссии, г CH_4 /голову/сутки
Наше исследование	≈ 356
Минприроды РФ (корова, энтерально) [3]	109 кг/год ≈ 299
IPCC для молочных коров Северной Америки [1]	138 кг/год ≈ 378
IPCC для Индийского субконтинента [1]	73 кг/год ≈ 200
Общий диапазон [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]	100–700

Заключение. Поток метана от 208 голов КРС в сутки при закрытых воротах (максимальное накопление) составляет 74 кг или 356 г на одну корову. Полученное значение полностью коррелирует с коэффициентом IPCC для Северной Америки (378 г) и находится внутри верхней границы общемирового диапазона 100–700 г. Расчетное значение на 19% выше, чем официальный коэффициент Министерства природных ресурсов РФ (299 г). Это объясняется тем, что метод камеры на основе закрытого коровника учитывает не только энтеральный метан (из дыхания), но и эмиссию от навоза и остатков корма, которые официальная методика может недоучитывать. Коровник можно использовать в качестве камеры для исследования влияния различных агроэкологических факторов на эмиссию метана от КРС, а полученный коэффициент 356 г/голову/сутки рекомендуется к использованию для расчета фактических выбросов парниковых газов в аналогичных закрытых системах содержания с естественной вентиляцией.

Библиографический список

1. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. V.

Masson-Delmotte et al. — Cambridge: Cambridge University Press, 2021. — URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/ (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: 10.1017/9781009157896.

2. Saunois M., Bousquet P., Poulter B., et al. The Global Methane Budget 2000–2020 // Earth System Science Data. — 2025. — Vol. 17. — P. 1873–2025.

3. Минприроды России. Распоряжение от 16 апреля 2015 г. № 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации». – URL: КонсультантПлюс (дата обращения: 08.01.2026).

4. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – 2019. – Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. – URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf (дата обращения: 08.01.2026).

5. Kuipers A., Galama P., Spoelstra S. F., Wiering C. J., Groot Koerkamp P. W. G. Invited review: Combined mitigation of methane and ammonia emissions from dairy barns through barn design, ventilation and air treatment systems // Journal of Dairy Science. — 2025. — Vol. 108, № 7. — P. 6565–6586. — DOI: 10.3168/jds.2024-26154.

УДК 574.635

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ПРЕСНЫХ ВОД, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

***Копейкин Алексей Вячеславович**, аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, alvkopeykin@yandex.ru*
*Научный руководитель – **Лагутина Наталия Владимировна**, к.т.н., доцент кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

***Аннотация**: Представлен комплекс методов экологической оценки эффективности биологической ремедиации пресных вод, включающий биотестирование, оценку биоаккумуляции углеводородов и др. Описаны альгологические, химико-аналитические и статистические подходы для контроля деградации нефтепродуктов и оптимизации условий культивирования.*

***Ключевые слова**: альгоремедиация, биоремедиация, микроводоросль, нефтепродукты, сточные воды, экология города.*

Проблема загрязнения водных ресурсов нефтепродуктами является одной из наиболее критических.

Актуальность темы обусловлена потребностью в разработке эффективных, экологически безопасных и экономически целесообразных технологий восстановления водных объектов, что соответствует приоритетным направлениям развития агропромышленного комплекса и экологической безопасности нашего государства.

В связи с этим значимость проблемы заключается в необходимости поиска альтернативных подходов.

Биоремедиация на основе микроводорослей представляет собой перспективную альтернативу благодаря:

- Высокой сорбционной способности к нефтяным углеводородам,
- Способности к фотосинтетической аэрации, усиливающей деятельность нефтеразрушающих бактерий [3,5];

• Экологической безопасности и возможности использования в природных и искусственных водоемах.

Решение поставленной проблемы позволит не только ликвидировать последствия загрязнений, но и получить вторичный продукт (биомассу водоросли), применимый в кормопроизводстве, что соответствует принципам экологической безопасности и циркулярной экономики [2].

Цель работы заключается в экологической оценке эффективности использования микроводоросли Chlorella vulgaris в качестве биологического агента для снижения уровня загрязнения пресных вод нефтью и продуктами ее нефтепереработки.

Задачи исследования:

- Оценить устойчивость и ростовые характеристики Chlorella vulgaris в условиях присутствия различных концентраций нефтепродуктов в модельных водных средах.
- Определить количественные показатели деструкционной активности: степень биодеградации углеводородов, скорость окисления и коэффициент накопления биомассы водоросли при разных начальных уровнях загрязнения.
- Выявить влияние абиотических факторов (освещенность, температура, pH, концентрация биогенных элементов) на эффективность сорбции и метаболической трансформации нефтепродуктов микроводорослью;
- Провести сравнительный анализ токсичности воды до и после очистки с использованием тест-объектов для оценки интегральной экологической безопасности метода;

Объектами исследования являются модельные образцы природной воды, загрязненной нефтепродуктами, сообщество гидробионтов в модельной среде и, непосредственно, микроводоросль Chlorella vulgaris

Методы исследования, выбранные для применения в данной работы разделены на *экологические* методы*, альгологические и микробиологические, химико-аналитические, физико-химические и статистические*

1. Экологические методы (оценка эффективности очистки и безопасности)

Основным методом, применяемым в ходе исследования будет культивирование микроводоросли в контролируемых условиях в фотобиореакторе, принципиальная схема которого представлена на Рисунке 1.

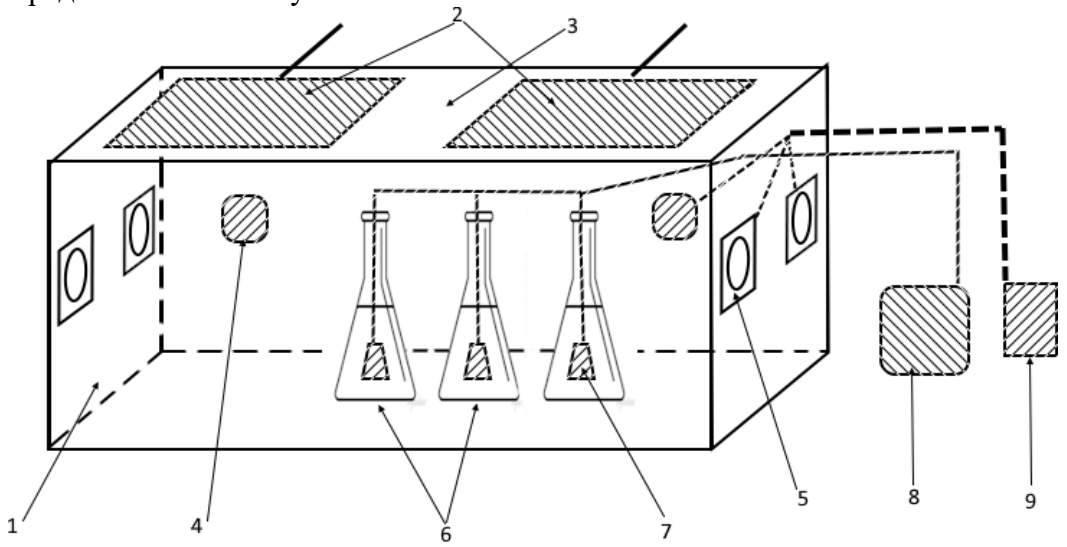


Рис. 1 Принципиальная схема лабораторного фотобиореактора

1 – корпус, 2 - лампы полного спектра, 3 - крышка, 5 – вентилятора, 4 - датчики температуры, 6 - ёмкости для среды и микроводоросли, 6 - аэраторы 8 -воздушный насосом, 9 – микроконтроллер [2]

Предполагается биотестирование токсичности воды до и после очистки. Возможные варианты:

- Тест на Daphnia magna (острая и хроническая токсичность, выживаемость, изменение подвижности) - ГОСТ Р ИСО 6341-2022.
- Тест на Ceriodaphnia affinis - более чувствительный к углеводородам.
- Тест на люминесцентных бактериях (Aliivibrio fischeri, «Эколюм») - экспресс-оценка токсичности за 15–30 мин.

Еще один экологический метод исследования - фитотестирование (оценка фитотоксичности очищенной воды и биомассы). Для этого будут использованы проростки Lepidium sativum (кресс-салата), стандартный фитотест (ингибирование корней и побегов), проростки Triticum aestivum (пшеница) или Avena sativa (овёс).

Будет проведена оценка влияния очистки на зоопланктонное сообщество (модельный эксперимент). Эксперимент с природной водой, содержащей естественный зоопланктон (коловратки, дафнии, циклопы) — оценка восстановления численности после внесения очищенной воды.

Также работа предполагает оценку биоаккумуляции нефтепродуктов в биомассе водоросли – определение коэффициента биоаккумуляции (BAF) [4] - экологический риск вторичного загрязнения при утилизации биомассы.

Возможно проведение экологической оценки утилизации биомассы после очистки, например, тест на выживаемость *Eisenia fetida* (калифорнийский червь) при внесении биомассы в почву — модель наземной экосистемы.

2. Альгологические и микробиологические методы

- Культивирование штамма Chlorella vulgaris (в ходе предыдущих работ была выбрана среда Guillard f/2 [1]).
- Подсчет численности клеток (камера Горяева или проточная цитометрия).
- Определение биомассы гравиметрическим методом (высушивание, взвешивание).
- Определение оптической плотности (спектрофотометрия, λ=680–750 нм).
- Оценка жизнеспособности клеток в присутствии нефтепродуктов

3. Химико-аналитические методы (оценка деградации нефтепродуктов)

Рассматриваемые варианты:

- Экстракция остаточных углеводородов из воды и биомассы (гексан, дихлорметан).
- Газохроматографический анализ (ГХ-МС или ГХ-ПИД) — покомпонентный состав углеводородов (n-алканы, ароматика), степень деструкции.
- ИК-спектроскопия (контроль общей концентрации нефтепродуктов по ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000).
- Определение ХПК и $БПК_5$ (биохимическое потребление кислорода).

4. Физико-химические методы (контроль условий и сорбции)

- Измерение pH, растворенного кислорода, температуры.
- Оценка сорбционной способности (разница между общей убылью нефтепродуктов и метаболической деструкцией через контрольные эксперименты).

5. Статистическая обработка данных

Дисперсионный анализ (ANOVA) — для выявления значимости влияния факторов (концентрация НП, свет, pH). Корреляционный и регрессионный анализ — для построения моделей зависимости степени очистки от времени и начальных параметров.

Ожидаемые результаты:

Количественные показатели эффективности очистки:

- степень деградации нефтепродуктов (в % от начальной концентрации) для разных типов загрязнителей (дизельное топливо, сырая нефть, моторное масло);

- кинетические кривые снижения ХПК и БПК в процессе альгоремедиации.

Интегральная экологическая оценка:

- значения LC50 для Daphnia magna и других тест-объектов до и после очистки;
- коэффициент биоаккумуляции (BAF) углеводородов в биомассе водоросли;
- уровень окислительного стресса (МДА, активность антиоксидантных ферментов) как маркер физиологического состояния водоросли.

Оптимальные режимы культивирования:

- диапазоны начальных концентраций нефтепродуктов, при которых альгоремедиация экологически эффективна (очистка ≥70% при отсутствии вторичной токсичности);
- рекомендуемые параметры среды (pH, освещённость, биогенные добавки) для максимальной деградации при минимальном риске.

Библиографический список

1. Изучение возможностей культивирования суспензии штамма Chlorella vulgaris BIN в различных питательных средах / А. В. Копейкин, Д. Ю. Мартынов, Н. В. Лагутина, К. Д. Шаховская // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – № 11-2. – С. 21-27. – DOI 10.37882/2223-2966.2024.11-2.17. – EDN FVTGGL.
2. Перспективы использования микроводоросли Chlorella vulgaris в процессе биоремедиации водных объектов, загрязненных нефтепродуктами / А. В. Копейкин // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии : Сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 258-261. – EDN PTRCYJ.
3. Семенов Ю. В., Харламова Т. А., Бодров А. В. Использование микроводоросли - хлореллы для биологической очистки воды от загрязнений нефтепродуктами // ГИАБ. 2012. №11.
4. OECD (2012). Test No. 305: Bioaccumulation in Fish: Aqueous and Dietary Exposure [Электронный ресурс] // OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3. — Paris : OECD Publishing. — Режим доступа: https://doi.org/10.1787/9789264185296-en (дата обращения: 23.04.2026)
5. Xaaldi Kalhor, A., Movafeghi, A., Mohammadi-Nassab, A. D., Abedi, E., & Bahrami, A. (2017). Potential of the green alga Chlorella vulgaris for biodegradation of crude oil hydrocarbons. Marine Pollution Bulletin, 123(1-2), 286–290. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.08.045 El-Sheekh, M. M.

УДК 631.363

БИОМОНИТОРИНГ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОЛИГОНОВ ТКО УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРАВЫХ ПРИТОКОВ РЕКИ ЛИХОБОРКА

Косов Никита Сергеевич, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, nikitacosov@yandex.ru*

Научный руководитель - ***Еврафов Алексей Викторович,*** *доцент кафедры Экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, a.evgrafov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В статье приведены результаты экологического обследования притоков реки Лихоборки (вблизи полигонов ТКО «Долгопрудный» и «Левобережный»). Представлена методика рекогносцировки, взятия проб на гидрохимический и гидробиологический анализы и*

их результаты. Расчётом индекса Пантле и Букка определено умеренное загрязнение как до, так и после полигонов. Отслежены изменения видового состава и частоты встречаемости на втором створе относительно первого. Расчётом индекса загрязненности воды (ИЗВ) установлено в целом умеренное фоновое загрязнение. Сформулирован вывод о пользе использования биоиндикационного метода.

Ключевые слова: *гидробиологические показатели, индекс Пантле-Букка, циклопы, полигоны ТКО, река Бусинка, урбанизированные территории, биоиндикация, зоопланктон, техногенное воздействие.*

Введение

Современное состояние водных объектов урбанизированных территорий формируется под воздействием антропогенных факторов, среди которых особое место занимают объекты размещения твёрдых коммунальных отходов (ТКО). В условиях продолжающегося накопления отходов и длительности последствий закрытых полигонов техногенная нагрузка на водотоки не снижается, а порой приобретает новые формы. Это требует эффективного геоэкологического мониторинга для своевременного выявления изменений качества вод и оценки степени их деградации.

Для решения этой задачи важны гидробиологические методы. В отличие от гидрохимических подходов, они экономически целесообразны, не требуют сложного оснащения [1], а интегральная реакция гидробионтов на комплекс загрязнений даёт более показательную оценку состояния водного объекта, чем разовые химические анализы [1].

Методологическая основа исследования включает подходы для инженерно-экологических изысканий и масштабных обследований водных объектов [2, 3]. Для оценки органического загрязнения использовались индекс Пантле-Букка в модификации Сладечека и индекс загрязнения воды (ИЗВ) [7].

Объекты исследования — водотоки в зоне влияния двух крупных объектов размещения ТКО в Московской области: полигонов «Долгопрудный» и «Левобережный». Полигон «Долгопрудный» — объект накопленного вреда, формирующийся в толще озера. Его фильтрат значительно воздействует на подземные и поверхностные воды: время просачивания до грунтовых вод — от 0,35 до 4 суток, превышение ПДК в водных объектах — десятки раз [4, 5]. Полигон «Левобережный» (близ г. Химки) работал с 1980-х до 2012 года, его площадь — 37 га, накоплено более 40 млн тонн отходов, что ставит его в число крупнейших в регионе [6].

В предшествующих исследованиях гидросети «Головинские Пруды — река Лихоборка» [8] показано, что после смешения вод притоков с водами из коллектора у Лихоборской набережной структура зоопланктона резко меняется: дафнии почти исчезают, но стабильно присутствуют циклопы. Анализ экосистем в зоне влияния закрытых полигонов ТКО [1] выявил их устойчивость, однако в верховьях Лихоборки экосистема испытывает воздействие сразу нескольких источников загрязнения, что требует детального пространственного анализа. Оба полигона закрыты и рекультивируются, но их многолетнее влияние продолжает определять геоэкологическую обстановку прилегающих территорий.

Цель работы — оценить изменение структуры гидробиоценозов водотоков под воздействием объектов ТКО методом биоиндикации. Задачи: сравнить видовой состав и соотношение видов-индикаторов выше и ниже зоны влияния полигонов, а также обосновать информативность гидробиологических методов в системе геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий.

Материалы и методики. Исследование проводилось на **верховьях реки Лихоборки** и её притоков — водотоков, протекающих в северной части г. Москвы и Московской области. Река относится к бассейну р. Москвы и на значительном протяжении находится в зоне влияния урбанизированных территорий. В непосредственной близости от района исследований расположены два крупных объекта размещения твердых коммунальных отходов (ТКО): полигон «Долгопрудный» и полигон «Левобережный» [4–6], которые являются потенциальными источниками загрязнения поверхностных вод.

Для оценки пространственного распределения гидробиологических показателей было заложено 7 постоянных станций отбора, расположенных последовательно по течению водотоков:

1. Ручей Коровий Враг (Кузнечихин пруд) – верхнее течение, фоновый участок выше всех источников воздействия.
2. Пруд перед заправкой «Роснефть».
3. Ручей после заправки.
4. Река Бусинка вблизи полигонов ТКО (перед слиянием с Коровьим Врагом) – зона прямого влияния объектов размещения отходов.
5. Точка после слияния ручья Коровий Враг и реки Бусинки.
6. Точка вниз по течению реки Бусинки.
7. Река Бусинка при заходе в трубу под автостраду (наиболее удалённый створ).

Расположение станций выбрано с учётом их удалённости от источников воздействия: станции 1–3 рассматриваются в качестве фоновых (условно чистых, выше влияния полигонов ТКО), а станции 4–7 испытывают влияние фильтрационных потоков с территории полигонов «Долгопрудный» и «Левобережный».

Отбор проб зоопланктона проводился с использованием сетки Апштейна (диаметр входного отверстия 20 см, ячея капронового сита 80 мкм) в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками. Процеживали 100 л воды на каждой станции, полученный материал фиксировали 4% формалином [2, 3].

Камеральную обработку проб выполняли в лаборатории под стереомикроскопом МСП-1Т с видеокамерой с идентификацией организмов до видового или родового уровня с использованием определителей. Для каждого таксона учитывали численность (количество особей в пробе) и долю в общем количестве организмов. В анализ включали следующие индикаторные группы гидробионтов: коловратки *(Rotifera),* циклопы (Cyclopoida), дафнии (*Daphnia*), подёнки (*Ephemeroptera*), трубочник (*Tubifex*), водяные клещи (Hydrachnidia).

Для оценки степени загрязнения воды рассчитывали индекс Пантле-Букка в модификации Сладечека [6] по формуле:

$$S = \frac{\sum s_i h_i}{\sum h_i},$$

где s_i — сапробность i-го вида, баллы, h_i — обилие i-го вида или численность.

Полученные значения интерпретировались согласно шкале: до 1,5 — очень чистые воды; 1,5–2,5 — умеренно загрязнённые; 2,5–3,5 — загрязнённые; 3,5–4,0 — грязные [7].

Результаты. В данном разделе представлены результаты гидробиологического мониторинга верховьев реки Лихоборки и её притоков, проведённого в период с осени 2023 по июнь 2025 года. Основное внимание уделено двум показателям: индексу Пантле-Букка (сапробности)– см. рис. 1 и обилию циклопов (*Cyclopoida*)– см. рис. 2, которые наиболее наглядно отражают пространственную динамику качества воды под влиянием полигонов ТКО «Долгопрудный» и «Левобережный».

На фоновых станциях 1–2 (ручей Коровий Враг, Кузнечихин пруд и пруд перед заправкой «Роснефть») значения индекса сапробности варьировали в пределах 1,96–2,18, что соответствует категории «умеренно загрязнённые воды». На станции 3 (ручей после заправки) индекс оставался в сходных пределах (1,92–2,25).

Резкое возрастание индекса зафиксировано на станции 4 (р. Бусинка вблизи полигонов ТКО, перед слиянием). Здесь значения достигали 2,73 (октябрь 2024) и 2,94 (март 2025), что соответствует переходу в категорию «загрязнённые воды» (S > 2,5). Этот скачок свидетельствует о поступлении органических загрязнителей с территории объектов размещения отходов.

Однако на станциях 5, 6 и 7 (ниже по течению, включая участок перед трубой под автострадой) индекс Пантле-Букка снижался до значений 1,60–2,13, то есть становился ниже,

чем на фоновых станциях 1–2. Такая динамика может объясняться разбавлением загрязнённых вод более чистыми притоками, а также процессами самоочищения в русле.

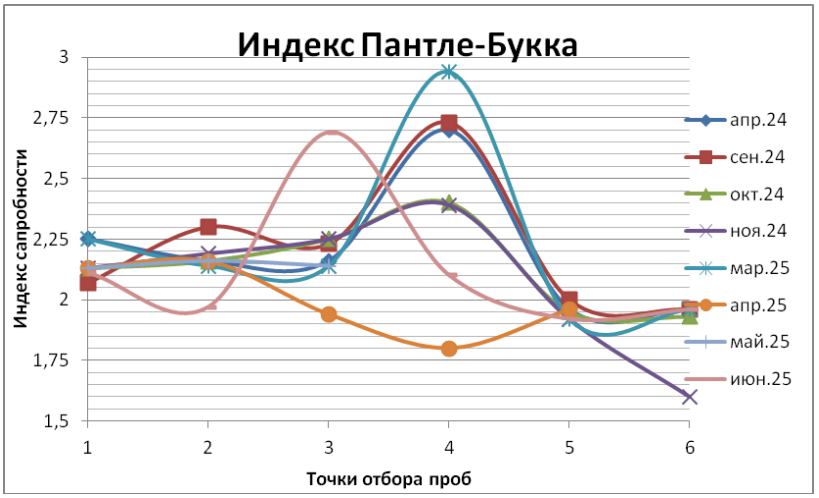


Рис. 1. Сводный график Индекса Пантле-Букка

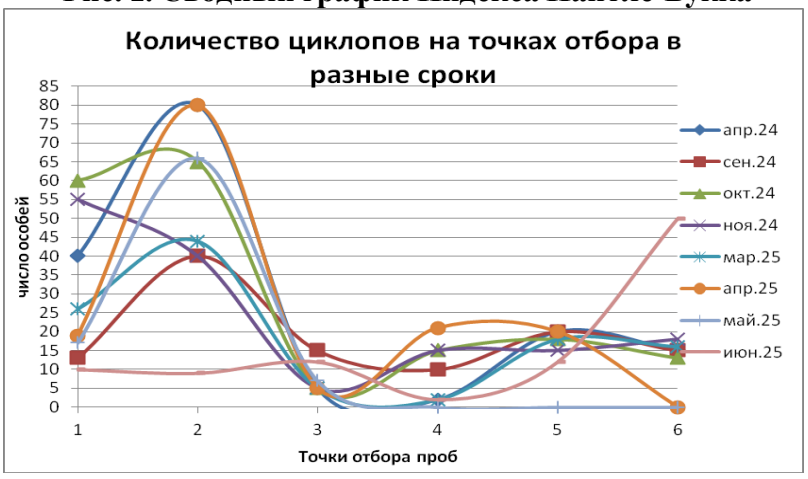


Рис. 2. Количество циклопов на точках отбора в разные сроки

2. Обилие циклопов как индикатора техногенного воздействия

Наиболее контрастную картину дало сравнение численности циклопов (Cyclopoida) – группы, устойчивой к загрязнению и часто доминирующей в эвтрофных условиях (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

На станциях 1 и 2 (фоновые участки) количество циклопов было кратно выше (до 80–99% от общего числа гидробионтов, или десятки–сотни особей в пробе).

На станциях 3–6 (от ручья после заправки до точек вниз по р. Бусинке) численность циклопов резко снижалась – в ряде проб до 2–15 особей, а их доля падала до 20–40%.

Такое снижение не является типичным для загрязнённых вод, где циклопы обычно сохраняют высокую численность. Напротив, резкое падение их обилия в зоне влияния полигонов ТКО (станции 4–6) указывает на токсическое воздействие, превышающее толерантность даже этой устойчивой группы. Лишь на самой удалённой станции 7 (перед трубой) численность циклопов вновь возрастала, что может быть связано с частичным восстановлением условий.

3. Синтез данных и интерпретация

Совместный анализ двух показателей выявляет парадоксальную, но важную закономерность:

Индекс Пантле-Букка (органическое загрязнение) резко возрастает в точке 4, а затем снижается ниже фоновых значений.

Численность циклопов (общая устойчивость сообщества) падает на станциях 3–6 и восстанавливается только на станции 7.

Это говорит о том, что химический состав загрязнения вблизи полигонов ТКО включает не только органические вещества (фиксируемые сапробным индексом), но и токсичные компоненты (например, тяжёлые металлы, нефтепродукты, фильтрат), которые подавляют даже устойчивые группы зоопланктона. Снижение индекса сапробности ниже по течению при сохранённой токсичности (низкой численности циклопов) может быть следствием разбавления органики, но сохранения микропримесей.

Заключение. Метод биоиндикации с использованием индекса Пантле-Букка позволил выявить зону наибольшего органического загрязнения в районе станции 4 (вблизи полигонов ТКО), где вода переходит в категорию «загрязнённая».

Численность циклопов оказалась более чувствительным индикатором комплексного техногенного воздействия, чем сапробный индекс. Резкое снижение их обилия на станциях 3–6 свидетельствует о наличии токсического фактора, не всегда коррелирующего с органическим загрязнением.

Пространственная динамика показателей (рост индекса в точке 4 с последующим снижением, падение численности циклопов с частичным восстановлением только в самой нижней точке) подтверждает необходимость одновременного использования нескольких гидробиологических критериев для достоверной геоэкологической оценки урбанизированных водотоков.

Полученные результаты обосновывают экономическую целесообразность и информативность гидробиологических методов (в частности, учёта численности индикаторных групп) в системах мониторинга водных объектов.

Библиографический список

1. Евграфов А.В., Косов Н.С., Лагутина Н.В. Оценка состояния водных экосистем в зоне влияния четырех закрытых полигонов ТКО // Тимирязевский биологический журнал. 2024. № 2. С. 16–29. DOI: 10.26897/2949-4710-2024-2-2-16-29

2. Евграфов А.В. Методика организации инженерно-экологических изысканий для студентов направлений «Природообустройство и водопользование» и «Экология и природопользование» // Российский форум изыскателей. Сборник докладов Всероссийской конференции с международным участием. М., 2022. С. 50–56. EDN: TKCDTA

3. Евграфов А.В., Пуховский А.В. Опыт организации широкомасштабного экологического обследования рек Москвы // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2012. № 4. С. 295–302. EDN: VIOQMX

4. Шаповалов Д.А., Скубиев С.И., Холин Р.Н., Скоробогатова У.Е. Применение метода георадиолокации для оценки геоэкологического состояния территорий полигонов твердых коммунальных отходов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63. № 6. С. 8.

5. Моделирование и оценка загрязнения подземных и поверхностных вод фильтратом полигонов твердых коммунальных отходов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021.

6. Евграфов А.В. Нормирование и снижение загрязнённости окружающей среды: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. 162 с. EDN: CJBOHY

7. Евграфов А.В., Косов Н.С., Цветкова А.В. Влияние экологических условий на состав зоопланктона в среднем течении реки Лихоборка // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Биологические науки. 2023. № 1. С. 73–79. DOI: 10.26897/2949-4710-2023-1-73-79

УДК 631.363

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ МЕТСУЛЬФУРОН-МЕТИЛА В РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

***Кузов Николай Алексеевич**, аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kuzovkoly@gmail.com*
*Научный руководитель: **Андреева Ирина Викторовна**, к.б.н., доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, i.andreeva@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** По результатам экспресс-биотестирования установлен фитотоксический эффект разных доз метсульфурон-метила в дозах 0,05; 0,1 и 0,5 мг/кг в почве на проростки люпина белого. Через 25 дней экспозиции снижение длины корня составило 41–52% от контроля. Темпы детоксикации гербицида были выше на чернозёме обыкновенном, тогда как на дерново-подзолистой почве через 55 дней экспозиции ингибирующий эффект сохранялся (57–60% от контроля).*

***Ключевые слова:** метсульфурон-метил, люпин белый, биотестирование.*

Введение. Сульфонилмочевины – гербициды четвертого поколения, отличающиеся высокой биологической эффективностью при малых дозах [1]. В России они занимают лидирующие позиции по объему применения, вытеснив более старые классы средств защиты растений. К их преимуществам относят широкий спектр действия, системность, длительную защиту и низкую токсичность для млекопитающих (ЛД50 > 5000 мг/кг). Главный недостаток данного класса гербицидов заключается в проявлении остаточной фитотоксичности для последующих культур в севообороте, особенно на щелочных почвах с pH выше 7,5 [2].

Метсульфурон-метил является одним из классических представителей сульфонилмочевин, который рекомендуется для обработки посевов зерновых культур. Попадая в растения, он подавляет фермент ацетолактатсинтазу, тем самым нарушая синтез незаменимых аминокислот в растении [3].

В целях минимизации экологических рисков и обеспечения безопасного применения препаратов как для последующих культур, так и для почвы эффективен метод биотестирования, который связывает химический анализ с реальным биологическим эффектом. Цель данной работы состояла в сравнительной экологической оценке остаточной фитотоксичности метсульфурон-метила с концентрацией ниже (0,05 мг/кг), на уровне (0,1 мг/кг) и выше (0,5 мг/кг) ОДК в дерново-подзолистой почве и черноземе обыкновенном на биометрические показатели тест-растений люпина белого на ранних стадиях онтогенеза.

Методы исследования. Исследования проводились в Лаборатории агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Объектами исследования послужили чернозем обыкновенный ($pH_{сол}$ 6,6; $pH_{вод}$ 7,5), отобранный на учебно-опытном поле ВНИИВиВ имени Я.И. Потапенко (г. Новочеркасск Ростовской области), и дерново-подзолистая почва ($pH_{сол}$ 4,9, $pH_{вод}$ 6,0) на территории УНКЦ «Лесная опытная дача» (г. Москва). Отбор образцов производился на глубине 0-15 см. Почву просеивали через сито 2 мм.

Определение фитотоксичности метсульфурон-метила (МСМ) проводилось методом экспресс-биотестирования. Метсульфурон-метил вносили в концентрациях 0,05 мг/кг (ниже ОДК), 0,1 мг/кг (на уровне ОДК), 0,5 мг/кг (в 5 раз выше ОДК). В качестве тест-культуры использовали люпин белый (*Lupinus albus*) сорта Дега, исходя из его установленной чувствительности к исследуемому веществу [4].

Исследования проводились в чашках Петри из расчета 50 г воздушно-сухой почвы на одну чашку. Для моделирования деградации МСМ эксперимент проводили тремя сериями:

после внесения МСМ (1 серия), через 20-25 дней – время, за которое разлагается 50% МСМ (DT_{50}) (2 серия), через 50-55 дней – время, за которое разлагается 90% МСМ (DT_{90}) (3 серия). Между сериями почва хранилась в закрытых чашках Петри при температуре 22°С. Повторность опыта – четырехкратная. В почву помещали по 5 пророщенных семян люпина белого, инкубировали 72 часа в термостате при температуре 22°С в темноте, затем измеряли биометрические показатели проростков.

Статистическую обработку данных осуществляли в Microsoft Excel и RStudio. Проверяли нормальность распределения по Шапиро-Уилку, при нормальности применяли t-критерий Стьюдента, в остальных случаях – непараметрический критерий Уилкоксона ($p<0,05$) [5].

Результаты исследования. В ходе биотестирования установлено, что МСМ оказывал дозозависимое ингибирующее действие на рост и биомассу люпина белого, выраженность которого существенно различалась между исследуемыми типами почв и сроками экспозиции.

Наиболее чувствительным параметром оказалась длина корня. Через 25 дней после внесения гербицида во всех вариантах наблюдалось значительное подавление роста корня относительно контроля. В дерново-подзолистой почве длина корня снизилась на 42–52% от контроля, в чернозёме обыкновенном – до 41–49% (таблица). Через 55 дней в дерново-подзолистой почве сохранялось умеренное ингибирование (57–60% от контроля), тогда как в чернозёме при концентрации 0,05 мг/кг длина корня достигала 108% от контроля, что может свидетельствовать об эффекте гормезиса. Различия между сроками экспозиции статистически значимы (критерий Уилкоксона, $p<0,05$) для чернозёма при дозе МСМ 0,05 мг/кг.

Таблица 1

Влияние метсульфурон-метила на длину корня и гипокотиля проростков люпина белого (M±m, n=5)

Почва	**Время экспозиции, дней**	**Вариант**	**Длина корня**		**Длина гипокотиля**	
			мм	**% от контроля**	**мм**	**% от контроля**
Дерново-подзолистая	25	Контроль	85,8 ± 6,3	100	28,5 ± 5,5	100
		0,05	44,2 ± 7,2	52	26,7± 4,0	94
		0,1	38,7 ± 5,8	45	25,9 ± 3,1	91
		0,5	36,0 ± 4,5	42	27,4 ± 5,1	96
	55	Контроль	82,6 ± 7,4	100	35,6 ±4,4	100
		0,05	47,4 ± 5,4	57	28,1 ± 5,0	79
		0,1	49,1 ± 4,6	59	33,7 ± 4,0	95
		0,5	49,2 ± 7,6	60	33,3 ± 4,1	94
Чернозём обыкновенный	25	Контроль	83,6 ± 5,6	100	28,3 ± 4,5	100
		0,05	41,3 ± 6,2	49	20,9 ± 3,7	74
		0,1	35,5 ± 4,5	42	24,7 ± 2,5	87
		0,5	34,0 ± 6,8	41	22,6 ± 4,2	80
	55	Контроль	65,0 ± 7,6	100	30,4 ± 2,9	100
		0,05	69,9 ± 9,0	108	30,3 ± 4,8	100
		0,1	47,3 ± 4,9	73	30,5 ± 2,9	100
		0,5	38,4 ± 5,8	59	22,2 ± 2,6	73

Биомасса оказалась менее чувствительным, но более информативным интегральным показателем, отражающим как ростовые процессы, так и метаболические изменения в растении. На рисунке представлено распределение индивидуальных значений сырой и сухой биомассы корня и гипокотиля через 25 и 55 дней для обоих типов почв.

В дерново-подзолистой почве через 25 дней сырая биомасса корня снижалась до 65–75% от контроля, сухая – до 42–57%. Наибольшее ингибирование отмечено при концентрации 0,1 и 0,5 мг/кг. Через 55 дней ожидаемого снижения фитотоксичности МСМ не произошло: сырая биомасса составила 62–67%, сухая – 66–72% от контроля.

В чернозёме обыкновенном динамика биомассы носила иной характер. При концентрации 0,05 мг/кг через 55 дней наблюдалась нормализация сырой биомассы корня (97% от контроля) и полное восстановление сухой биомассы корня (100% от контроля), что согласуется с данными по длине корня (108% от контроля). При более высоких концентрациях (0,1 и 0,5 мг/кг) угнетение проростков отмечалось, но не было таким выраженным, как в дерново-подзолистой почве: сырая биомасса корня – 83 и 66%, сухая – 93 и 79% от контроля соответственно.

Биомасса гипокотиля оказалась наименее чувствительным к присутствию МСМ в почве показателем. В большинстве вариантов она составила 88–100% от контроля. Наиболее выраженное снижение отмечено для сухой биомассы гипокотиля в чернозёме при 0,5 мг/кг через 55 дней (73% от контроля) и в дерново-подзолистой почве при 0,05 мг/кг через 25 дней (90% от контроля). Отсутствие сильного ингибирования гипокотиля может объясняться тем, что гербицид в первую очередь подавляет развитие корневой системы, которая непосредственно с ним контактирует, а надземная часть страдает вторично (рис. 1).

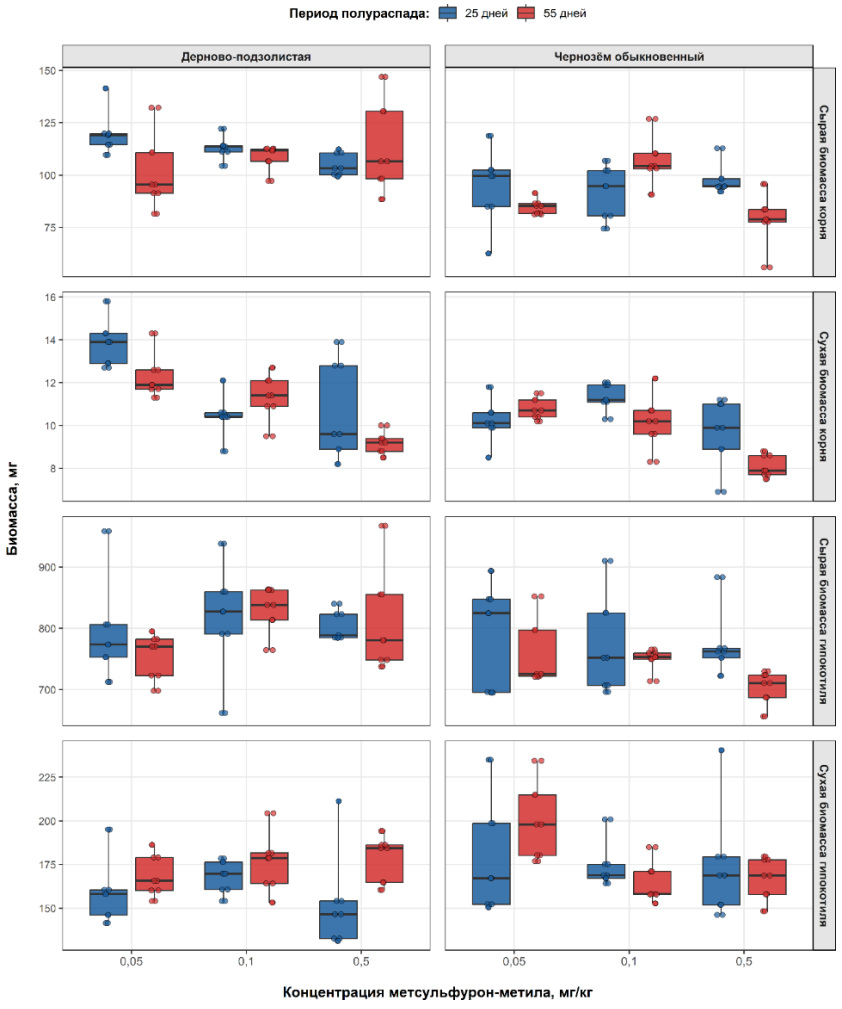


Рис. 1 Сырая и сухая биомасса корня и гипокотиля проростков люпина белого при внесении метсульфурон-метила

Статистически значимые различия между изучаемыми периодами разложения пестицида зафиксированы для сырой биомассы корня в чернозёме (0,05 и 0,5 мг/кг) и для сухой биомассы корня в дерново-подзолистой почве ($p<0,05$).

Выводы

1. Метсульфурон-метил в концентрациях 0,05; 0,1 и 0,5 мг/кг в дерново-подзолистой почве и черноземе обыкновенном оказывал дозозависимое фитотоксическое последействие на проростки люпина белого. Длина корня оказалась наиболее чувствительным к гербициду показателем: через 25 дней экспозиции ее снижение составило 42–52 и 41–49% от контроля в дерново-подзолистой почве и чернозёме обыкновенном, соответственно.
2. Скорость детоксикации метсульфурон-метила существенно зависела от типа почвы. Так, при дозе гербицида 0,05 мг/кг в чернозёме через 55 дней зафиксирована стабилизация сырой и сухой биомассы корня (97 и 100% от контроля соответственно), тогда как в дерново-подзолистой почве корни проростков по-прежнему ингибировались (62–72% от контроля).
3. Биомасса гипокотиля была малочувствительна к воздействию метсульфурон-метила (88–100% от контроля в большинстве вариантов) на ранних этапах онтогенеза растений люпина белого, что делает её непригодной в качестве индикатора фитотоксичности в исследованном диапазоне концентраций гербицида в условиях экспресс-биотестирования.
4. Различия между типами почв статистически значимы во всех вариантах с внесением метсульфурон-метила ($p<0,01$), что подтверждает ключевую роль почвенных условий в динамике разрушения метсульфурон-метила и проявлении его остаточной фитотоксичности.

Библиографический список

1. Железова И.В., Кудрявцева Г.П., Соколова Т.В. [и др.]. Анализ остаточных количеств гербицидов из класса сульфонилмочевинов на тест-культуры // Агрохимия. 2023. № 11. С. 53–62.
2. Хлюпина С.В. Тест-культуры при оценке фитотоксичности почвы // Вестник БГАТУ. 2022. № 3. С. 45–52.
3. Зайцев А.В., Иванова Е.С. Фитотоксичность метсульфурона-метила в дерново-подзолистых и черноземных почвах // Защита и карантин растений. 2021. № 4. С. 36–42.
4. Чкаников В.П., Лебедев В.Б. Пути снижения фитотоксичности остатков сульфонилмочевина в почве с помощью антидотов // Агрохимия. 2020. № 5. С. 86–96.
5. Шадрин Д.С. Статистический анализ данных в сельском хозяйстве: MS Excel и RStudio // Вестник ВлГУ. 2023. № 2. С. 112–120.

УДК 631.95

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ КОФЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РЕДЬКИ ПОСЕВНОЙ

Латышева Ольга Станиславовна, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, latysheva@rgau-msha.ru*
Научный руководитель: *Таллер Евгений Борисович**,** к.с-х.н, доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, etallereb@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В статье представлена экологическая оценка применения отходов потребления кофе в качестве органического удобрения при выращивании редьки посевной на нарушенных почвах г. Москвы. Исследование выполнено в полевом и вегетационном опытах с использованием различных доз кофейного жмыха. Установлено, что внесение отходов*

потребления кофе оказывает положительное влияние на рост и развитие выбранной тест-культуры и может рассматриваться как перспективный способ утилизации органических отходов в условиях урбанизированных территорий.

Ключевые слова: *агроэкологическая оценка, отходы потребления кофе, нарушенные почвы, редька посевная, урбанизированные территории, рекультивация почв*

В условиях мегаполиса почвенный покров подвергается техногенному воздействию: переуплотнению, химическому загрязнению, истощению органического вещества и снижению биологической активности [2,6,7]. По данным исследований, в Москве около 20% городских почв определяются как нарушенные, с низким содержанием органического вещества, что приводит к существенной деградации почвенного плодородия. Такие почвы характеризуются низкой влагоудерживающей способностью, дефицитом азота, фосфора, калия, а также подавлением роста почвенной микробиоты [4,5].

Экологически обоснованная рекультивация нарушенных почв предполагает применение органических добавок для восстановления структуры, повышения содержания гумуса и стимуляции роста почвенной микробиоты [2,6]. На городских территориях для реализации поставленной задачи целесообразно отдавать приоритет безопасным отходам потребления, что соответствует принципам циркулярной экономики и устойчивого земледелия [5].

Отходы потребления кофе (ОПК) – побочный продукт, полученный в результате потребления кофейных напитков. ОПК представляет собой массу из перемолотых зёрен с влажность 60-70%, характеризующуюся высоким содержанием органического вещества – в его состав входят белки, целлюлоза, липиды, лигнин, полифенолы, кофеин и минеральные вещества, что делает ОПК источником медленно минерализуемого гумуса, а кислотность (pH 5,7) – подходящим для нейтрализации слабощелочных городских почв (pH 7,7) [1].

Выбранная культура, редька посевная (*Raphanus sativus*) сорта «Всесезонный», подходит для оценки воздействия ОПК на нарушенных почвах благодаря устойчивости к подкислению (выносит диапазон pH от 5,0 до 7,5), короткому вегетационному периоду (30-45 дней) и фиторемедиативным свойствам. В полевых опытах редька посевная используется для моделирования рекультивации: на уплотнённых почвах она восстанавливает поровое пространство, а как тест-культура позволяет оценить фитотоксичность добавок.

Данное исследование сочетает полевой опыт (натуральные условия г. Москвы) и вегетационный (контролируемые условия) для комплексной оценки применения ОПК. Полевой опыт заложен на агроэкологическом стационаре РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (55.83119 с.ш. 37.55891 в.д.) и включает в себя 16 делянок с разной дозой ОПК (сухого кофейного жмыха), заложенных по методу латинского квадрата. Размер делянок 1,5 х 2 м с междурядьями по 0,5 м [3].

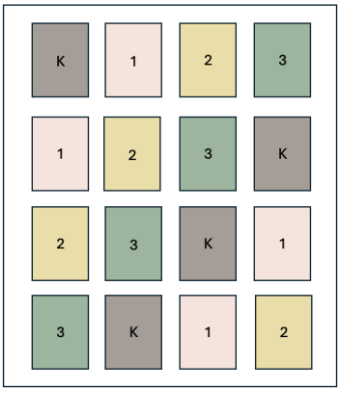


Рис. 1 Схема полевого опыта

Контроль (К) – 4 делянки без внесения ОПК; вариант №1 (1) – 4 делянки с внесением 1 кг ОПК на 3 м^2; вариант №2 (2) – 4 делянки с внесением 2 кг ОПК на 3 м^2; вариант №3 (3) – 4 делянки с внесением 3 кг ОПК на 3 м^2.

По результатам учёта биомассы редьки посевной было установлено, что в рамках полевого опыта наибольший результат зафиксирован в варианте №1 (1 кг ОПК на 3 м^2) – среднее значение биомассы составило 9,6 кг (включая 7,7 кг подземной и 1,9 кг надземной), наименьший результат зафиксирован в варианте №2 (2 кг ОПК на 3 м^2) – среднее значение биомассы здесь составило 7,6 кг (включая 5,9 кг подземной и 1,6 кг надземной).

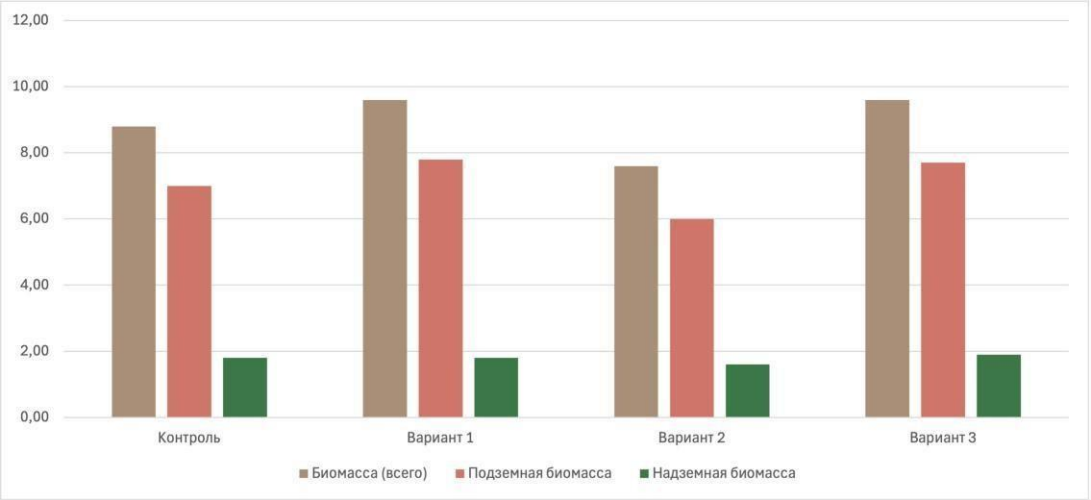


Рис. 2 Биомасса редьки посевной в кг (полевой опыт)

В рамках вегетационного опыта наибольший результат зафиксирован в варианте №3 (28 г ОПК на 0,04 м^2) – 11,9 г биомассы (включая 0,2 г подземной и 11,8 г надземной), наихудший результат установлен в контрольных сосудах – 8,2 г биомассы (включая 0,3 г подземной и 7,9 г надземной). Образования корнеплодов в рамках вегетационного опыта не произошло из-за низкого уровня освещённости.

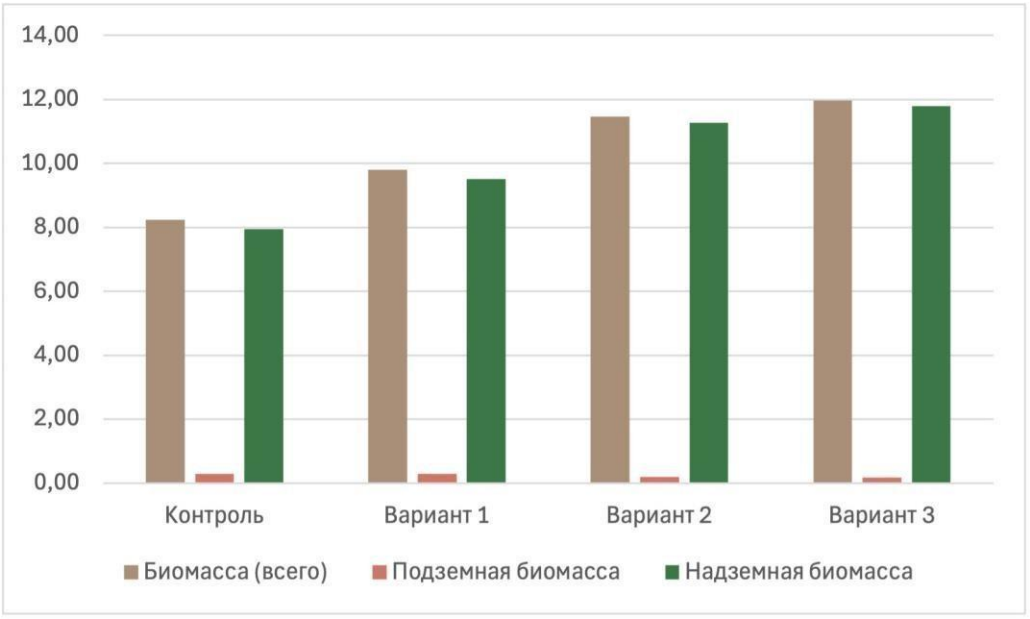


Рис. 3 Биомасса редьки посевной в г (вегетационный опыт)

Результаты исследования показали, что отходы потребления кофе могут рассматриваться как перспективное органическое удобрение на нарушенных почвах. Наиболее эффективными оказались умеренные дозы ОПК, при которых отмечено увеличение биомассы редьки посевной в полевом и вегетационном опытах. Поскольку высокая доза не обеспечила лучшего эффекта, необходимо подбирать оптимальные нормы внесения. Полученные данные подтверждают целесообразность проведения дальнейших исследований

по использованию ОПК в системе экологически ориентированного земледелия и рекультивации городских почв.

Библиографический список

1. Леонова Ю. В., Тихонова М. В., Слипец А. А. и др. Агроэкологическое обоснование использования кофейных отходов в качестве удобрения при выращивании овса на дерново-подзолистых супесчаных почвах Калужской области: научная монография. Калуга: Российский государственный аграрный университет, 2025. 117 с. ISBN 978-5-605-30779-2. EDN XAPAHK.

2. Мосина, Л.В. Почвенно-биотический комплекс как основа агроэкосистемы: Учеб. пособие / Л. В. Мосина, С. А. Потапова; Департамент кадровой политики и образования М-ва сел. хоз-ва и продовольствия Рос. Федерации. - Москва: Изд-во МСХА, 1997. – 79с.

3. Оценка экологической реакции агроценоза при мониторинговых наблюдениях продукционного процесса злаковых культур / Н. А. Александров, И. А. Серегин, Я. С. Жигалева [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 6(66). – DOI 10.51419/202146640.

4. Тихонова М. В., Бенин Д. М., Жигалева Я. С. и др. Городское пространство и экологическое благополучие: создание комфортной городской среды // АгроЭкоИнфо. 2025. № 5(71). DOI: 10.51419/202155525. EDN HANMWJ.

5. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2024 году. Москва: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, 2025. URL: https://www.mos.ru/upload/content/files/ce91e7d457ac339d0b3ceb1fd881298e/DokladosostoniiokryjausheisredivgorodeMokvev2024gody.pdf (дата обращения: 20.04.2026).

6. Accumulation of biogenic metals in the plants of urbanised ecosystems in the city of Kaliningrad / G. N. Chupakhina, P. V. Maslennikov, L. N. Skrypnik [et al.] // Research Journal of Chemistry and Environment. – 2017. – Vol. 21, No. 1. – P. 9-17.

7. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Circular economy in agriculture. Rome: FAO, 2022. URL: https://www.fao.org/land-water/overview/onehealth/circular/en/ (дата обращения: 20.04.2026).

УДК 631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ КОМПОСТА И ФОСФОГИПСА НА МЕТАБОЛИЗМ BACILLUS SUBTILIS И PSEUDOMONAS PUTIDA В ЗАГРЯЗНЕННОЙ СВИНЦОМ И ЦИНКОМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

***Никитенко Антон Михайлович**, аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, brokendrummachine@mail.ru*
***Васенев Пётр Иванович**, аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, petervas08.08.1992@gmail.com*
*Научный руководитель – **Васенев Иван Иванович**, д.б.н., профессор кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, vasenev@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** В статье обобщаются данные лабораторных опытов, посвящённых изучению подавляющего действия Pb и Zn (в дозах 0,1; 1 и 2 ПДК) на физиологическую активность Bacillus subtilis и Pseudomonas putida в дерново-подзолистой почве, а также оценивается стабилизирующий эффект от внесения компоста из помёта перепелов и фосфогипса. Показано, что рост концентраций металлов приводит к дозозависимому снижению дыхательной, протеазной и липазной активности бактерий, причём свинец действует сильнее, чем цинк. Использование компоста и фосфогипса позволяет частично снять токсическое действие, повышая метаболическую активность микроорганизмов. Полученные результаты свидетельствуют о пригодности данных бактерий для*

биоиндикации тяжелометаллического загрязнения почв. Полученные данные подтверждают потенциал использования указанных бактерий для биоиндикации загрязнения почв тяжелыми металлами.

Ключевые слова: *bacillus subtilis, pseudomonas putida, свинец, цинк, протеаза, липаза, микробное дыхание, компост, фосфогипс, биоиндикация*

Введение. Загрязнение почв тяжелыми металлами, такими как свинец (Pb) и цинк (Zn), представляет значительную угрозу для агроэкосистем, приводя к нарушению экологического баланса и накоплению токсичных веществ, что препятствует нормальному функционированию почвенной микробиоты [5]. Указанные металлы ингибируют ключевые ферментативные и дыхательные процессы у микроорганизмов, включая *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas putida*, играющих важную роль в деградации органических веществ [1-4]. Внесение органических мелиорантов, таких как компост из перепелиного помета и фосфогипс, способствует иммобилизации металлов и стимуляции микробной активности [7].

Целью исследования являлся анализ ингибирующего влияния возрастающих концентраций Pb и Zn на метаболическую активность *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas putida* в дерново-подзолистой почве с оценкой стабилизирующего эффекта компоста и фосфогипса. Материалы и методы Эксперименты проводились на образцах пахотного горизонта дерново-подзолистой суглинистой почвы, отобранных на Агроэкологическом стационаре РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [6]. Использовались штаммы *Bacillus subtilis* B-9865 и Pseudomonas putida, инокулированные в концентрации около 10^7 КОЕ/г почвы. Pb и Zn вносились в форме ацетатов на уровнях 0,1; 1 и 2 ПДК (Pb: 32 мг/кг, Zn: 37 мг/кг). В альтернативных вариантах опытов применялись компост из перепелиного помета (10% от массы почвы) или фосфогипс (150 г/м², эквивалентно 1,5 т/га). Образцы подвергались прединкубации в течение 3 суток при 25°C [1-4]. Интенсивность дыхания оценивалась по накоплению CO_2 с использованием газового хроматографа Кристалл-2000М после добавления глюкозы. Протеазная активность определялась по гидролизу казеина, липазная — по гидролизу p-нитрофенилпальмитата. Измерения выполнялись в четырех повторностях с последующей статистической обработкой посредством дисперсионного анализа (ANOVA) и t-критерия ($p<0.05$).

Результаты и обсуждение: В отсутствие мелиорантов Pb и Zn проявляли дозозависимое ингибирующее воздействие на метаболизм *Bacillus subtilis* и Pseudomonas putida, с более выраженным эффектом Pb [1-4]. Для B. subtilis дыхательная активность снижалась до 85% (Pb, 0,1 ПДК) и 20% (Pb, 2 ПДК), до 95% (Zn, 0,1 ПДК) и 45% (Zn, 2 ПДК) Протеазная активность: до 85% (Pb, 0,1 ПДК) и 22% (Pb, 2 ПДК), до 94% (Zn, 0,1 ПДК) и 40% (Zn, 2 ПДК) Липазная активность: до 75% (Pb, 0,1 ПДК) и 18% (Pb, 2 ПДК), до 90% (Zn, 0,1 ПДК) и 35% (Zn, 2 ПДК)

При внесении компоста наблюдалось повышение метаболической активности бактерий. Для *B. subtilis* дыхательная активность снижалась до 6% (Pb, 0,1 ПДК) и 56% (Pb, 2 ПДК), до 4% (Zn, 0,1 ПДК) и 53% (Zn, 2 ПДК). Протеазная активность: до 10% (Pb, 0,1 ПДК) и 72% (Pb, 2 ПДК), до 8% (Zn, 0,1 ПДК) и 65% (Zn, 2 ПДК); Липазная активность: до 48% (Pb, 1 ПДК) и 61% (Pb, 2 ПДК), до 42% (Zn, 1 ПДК) и 58% (Zn, 2 ПДК)

Для *P. putida* дыхательная активность снижалась до 10% (Pb, 0,1 ПДК) и 56% (Pb, 2 ПДК), до 7% (Zn, 0,1 ПДК) и 47% (Zn, 2 ПДК). Протеазная активность: до 16% (Pb, 0,1 ПДК) и 49% (Pb, 2 ПДК), до 23% (Zn, 1 ПДК) и 35% (Zn, 2 ПДК). Липазная активность: до 39% (Pb, 1 ПДК) и 56% (Pb, 2 ПДК), до 27% (Zn, 1 ПДК) и 47% (Zn, 2 ПДК).

Применение фосфогипса также способствовало стабилизации метаболических процессов. Для *B. subtilis* дыхательная активность снижалась до 21% (Pb, 1 ПДК) и 39% (Pb, 2 ПДК), до 18% (Zn, 1 ПДК) и 36% (Zn, 2 ПДК). Протеазная активность: до 15% (Pb, 1 ПДК) и 35% (Pb, 2 ПДК), до 12% (Zn, 1 ПДК) и 28% (Zn, 2 ПДК). Липазная активность: до 18% (Pb, 1 ПДК) и 42% (Pb, 2 ПДК), до 13% (Zn, 1 ПДК) и 32% (Zn, 2 ПДК).

Для *P. putida* дыхательная активность снижалась до 35% (Pb, 1 ПДК) и 56% (Pb, 2 ПДК), до 32% (Zn, 1 ПДК) и 53% (Zn, 2 ПДК). Протеазная активность: до 35% (Pb, 1 ПДК) и 58% (Pb, 2 ПДК), до 26% (Zn, 1 ПДК) и 49% (Zn, 2 ПДК) Липазная активность: до 30% (Pb, 1 ПДК) и 52% (Pb, 2 ПДК), до 22% (Zn, 1 ПДК) и 45% (Zn, 2 ПДК).

Полученные результаты демонстрируют высокую чувствительность метаболизма бактерий к Pb и Zn, с высокой корреляцией между показателями ($r > 0.85$). Компост и фосфогипс снижают токсичность за счет образования комплексов, подтверждая их эффективность для биоремедиации. Pb и Zn вызывают значительное дозозависимое угнетение метаболизма *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas putida* в дерново-подзолистой почве, с преобладающим эффектом Pb. Компост и фосфогипс оказывают стабилизирующее действие, уменьшая ингибирование. Указанные бактерии перспективны для биоиндикации загрязнения.

Библиографический список

1. Никитенко А.М., Журавлёв Д.И., Козлов А.В., Васенев И.И. Агроэкологическая оценка стабилизирующего влияния компоста на метаболизм Pseudomonas putida в загрязненной свинцом и цинком дерново-подзолистой почве [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 3. – Режим доступа:http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/3/st_325.pdf DOI:https://doi.org/10.51419/202153325
2. Никитенко А.М., Журавлёв Д.И., Козлов А.В., Васенев И.И. Агроэкологическая оценка стабилизирующего влияния фосфогипса на Bacillus subtilis в загрязненной Pb и Zn дерново-подзолистой почве [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/3/st_323.pdf DOI:https://doi.org/10.51419/202153323.
3. Никитенко А.М., Журавлёв Д.И., Васенев П.И., Козлов А.В., Васенев И.И. Экологическая оценка влияния фосфогипса на дыхание и метаболизм Pseudomonas putida в загрязненной Pb и Zn дерново-подзолистой почве [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/3/st_324.pdf DOI:https://doi.org/10.51419/202153324.
4. Никитенко А.М., Журавлёв Д.И., Козлов А.В., Васенев И.И. Экологическая оценка ингибирующего влияния различных доз свинца и цинка на метаболизм Bacillus subtilis в дерново-подзолистой почве [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/3/st_321.pdf DOI:https://doi.org/10.51419/202153321.
5. Габечая В.В., Андреева И.В., Морев Д.В. Эколого-геохимическая оценка накопления и миграции тяжелых металлов в почве разновозрастных виноградников интенсивного типа в условиях эродированного ландшафта Южнобережной зоны Крыма [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st_613.pdf DOI: https://doi.org/10.51419/202146613.
6. Васенев, И. И. Почво- и углерод-сберегающие технологии повышения продуктивности травостоя с использованием отходов промышленности и сельского хозяйства: методические рекомендации по результатам апробации / И. И. Васенев, А. В. Степанов, П. И. Васенев. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2023. – 48 с.
7. Luo X., Yang L., Huang P., Chen H. et al. Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. Sci. Total Environ. 2020. Vol. 701. P. 134751.

УДК 631.363

МЕТОДОЛОГИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА РЕКРЕАЦИОННЫХ ТРОПАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Осорио Эспиноза Камило Марти, *аспирант кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, osoriomarticam25@mail.ru*
Научный руководитель ***- Тихонова Мария Васильевна,*** *доцент кафедры экологии, к.б.н., ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, tmv@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В работе рассматривается методика полевого исследования растительного покрова экологической тропы «Оленья», расположенной на территории ЭПК «Лосиная биостанция». Основной целью является оценка биоразнообразия и степени антропогенного воздействия на растительность тропы «Оленья» на территории ЭПК «Лосиная биостанция» в Национальном парке «Лосиный остров». Для этого предлагается система пробных площадей различного масштаба (1×1 м и 10×10 м), а также применение индексов биоразнообразия.*

Ключевые слова: *Экологическая тропа, Биоразнообразие, состояние древесной растительности, рекреационная нагрузка.*

Введение. Мониторинг древесной растительности на экологической тропе имеет фундаментальное значение для оценки здоровья леса, видового состава и воздействия рекреационной нагрузки. В данной статье предлагается подход к разработке систематической схемы отбора проб, объединяющий два масштаба наблюдения: микро-площадки непосредственно у тропы и макро-площадки на расстоянии 10 метров от неё. Такой подход позволяет сравнить структуру древостоя в зонах экотона (края) и внутрилесных участках. Эколого-просветительский комплекс (ЭПК) «Лосиная биостанция» представляет собой природный участок, включающий разнообразные лесные экосистемы и используемый как площадка для экологических экскурсий и научно-просветительской деятельности. Наличие этих экологических троп делает территорию удобной для посещения, но одновременно повышает риск антропогенного воздействия на некоторых тропах, таких как экологической тропы «Оленья» [1,2].

Цель. Разработать полевой протокол для оценки состояния древостоя (сомкнутость крон, разнообразие, плотность, санитарное состояние) на 1,2 – 1,5 км линейном маршруте с использованием методов биоразнообразия, основанных на экологических индексах [1,2,3].

Объекты и методы исследования. Экологический познавательный комплекс (ЭПК) «Лосиная биостанция» расположен на территории природно-исторического парка «Лосиный Остров», входящего в состав ООПТ федерального значения «Национальный парк Лосиный Остров». Территория биостанции находится в северо-восточной части Москвы, вблизи границ с территориями Мытищинского городского округа, от поселка Дружба, микрорайона Мытищи. По данным на 2017 год, площадь Лосиной биостанции в НП «Лосиный остров» составляется предварительная площадь: ≈130 гектаров (≈1,30 км²).

Территория исследования характеризуется разнообразием природных условий: здесь представлены елово-сосновые, смешанные и мелколиственные леса, а также переходные заболоченные биотопы и пойменные территории малых водотоков. Рельеф в пределах биостанции преимущественно равнинный, с незначительными перепадами высот, что определяет особенности водного режима и распределения растительных сообществ.

В качестве ключевых пространственных единиц исследования рассматриваются одна экологическая тропа:

Экологической Тропы «Оленья», длина составляет около 1,2 – 1,5 км. Максимальная высотность н.у.м (м) 160 м. проход лесной, с деревянным настилом, маршрут проходит через

смешанный лес — ельники, березняки и др. В конце с выходом на луг и в зону у вольеров (рис. 1).

Предусматривается два типа пробных площадей:

Краевые участки (непосредственно у тропы) включают 5 точек размером 1 м х 1 м, расположенных с каждой стороны тропы с расстоянием между центрами 50 см, всего формируя 10 микро-площадок (5 слева и 5 справа), на которых проводится оценка подроста, травянистой растительности и молодых деревьев высотой менее 2 м; внутренние участки (вдали от тропы) включают 5 точек размером 10 м х 10 м, расположенных с каждой стороны тропы на расстоянии 10 м вглубь леса от её края (Рис. 2), всего формируя 10 макро-площадок, где осуществляется оценка древостоя с диаметром на высоте груди (ДГС) не менее 10 см.

Видовой состав растений определялся по С.К. Черепанову (1995) и с помощью серии идентификаторов. Диаметр деревьев измерялся на уровне в 1,30 м от земли с помощью рулетки [4].

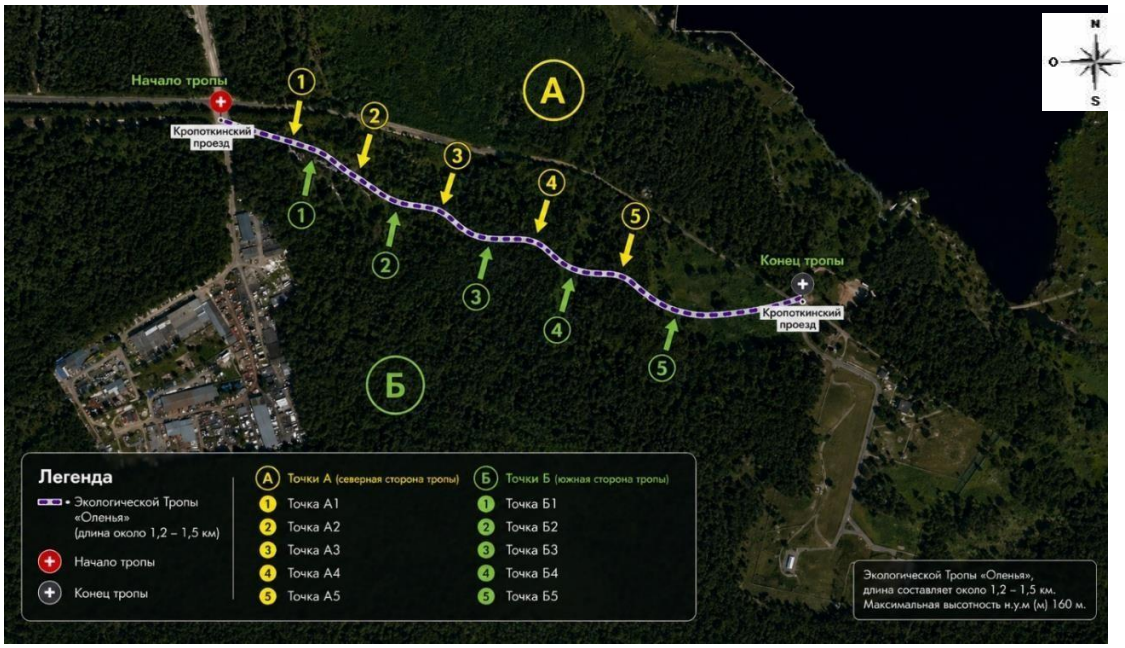


Рис. 1. Карта-схема расположения экологический тропы «Оленья» и участков на территории ЭПК «Лосиная биостанция»

Результаты и обсуждение. На всех учетных площадках размером 1 м х 1 м, заложенных в пределах экологической тропы «Оленья», была зафиксирована низкая степень развития растительного покрова, что обусловлено гидроморфным состоянием почв и наличием застойного увлажнения на отдельных микролокалитетах, а также частичной покрытостью территории подстилкой и разреженной кустарниковой растительностью. В пределах первой точки отмечено присутствие отдельных видов сосудистых растений, характерных для данного биотопа, таких как *Carex acuta* (осока острая), *Juncus effusus* (ситник развесистый), *Poa pratensis* (мятлик луговой) и *Taraxacum officinale* (одуванчик лекарственный), что свидетельствует о начальной стадии сукцессионных процессов. На второй и третьей точки наблюдалось полное или частичное затопление, вследствие чего растительность практически отсутствовало. В четвертой и пятой точках зафиксирован крайне разреженный травяной покров с низкой проективной покрываемостью. Аналогичная пространственная структура распределения растительности выявлена и на юго-западных участках правая сторона Б (точки 1–5), где также преобладают условия избыточного увлажнения и отсутствия активной вегетации. В целом, текущее состояние растительного покрова обусловлено ранним фенологическим этапом (периодом покоя или начальной вегетации), а также устойчиво влажными климатическими условиями, характерными для всей протяженности исследуемого маршрута.

Обсуждение результатов показывает, что оба исследуемых участка относятся к

смешанным лесам бореального типа, при этом левая сторона (А) тропы более характерна для сосново-еловых лесов, тогда как правая сторона (Б) демонстрирует переход к елово-лиственным сообществам; различия обусловлены экологическими условиями: левая сторона (А) характеризуется более сухими и хорошо дренированными почвами, в то время как правая сторона (Б) отличается повышенной влажностью, способствующей развитию лиственных пород; структура древостоя также варьирует, поскольку более высокий средний диаметр деревьев на левой стороне (А) может указывать на меньшую конкуренцию, тогда как повышенная плотность древостоя на правой стороне (Б) свидетельствует о более интенсивном естественном возобновлении; выявленные различия между сторонами тропы подтверждают наличие пространственной микроландшафтной мозаичности, являющейся характерной особенностью естественных лесных экосистем (Табл. 1).

Таблица 1

Краткая характеристика состава и состояния древесных насаждений на исследуемых участках (10 х 10 м) (Левая сторона А и Правая сторона Б)

№ участка		Видовой состав	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Примечания
№1	А	Сосна обыкновенная (8)	30	24	Сухой участок, лишайниковый покров
	Б	Ель европейская (11)	27	23	Более высока сомкнутось
№2	А	Ель европейская (10)	26	22	Затенённый участок
	Б	Смешанный (ель + осина) (9)	24	21	Увлажнённый участок
№3	А	Смешанный (сосна+берёза) (9)	25	23	Переходная зона
	Б	Сосна обыкновенная (8)	22	20	Участок восстановления
№4	А	Берёза повислая (7)	20	19	Разреженный древостой
	Б	Сосна обыкновенная (7)	29	24	Более сухие условия
№5	А	Сосна обыкновенная (6)	32	25	Песчаные почвы
	Б	Смешанный (сосна+берёза) (10)	26	22	Переходная зона

На основе данных таблицы установлено, что исследуемые насаждения представлены смешанным древостоем с преобладанием хвойных пород (Сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris*, Ель европейская, *Picea abies*) и участием лиственных видов (Берёза повислая, *Betula pendula*, Осина (обыкновенная), *Populus tremula*).

Средние значения высоты (20–32 м) и диаметра (19–25 см) указывают на средневозрастную стадию развития и относительно однородную структуру древостоя. Выявленные различия между участками обусловлены экологическими условиями: более сухие местообитания способствуют доминированию сосны, тогда как повышенная влажность и сомкнутость древостоя благоприятствуют развитию елово-лиственных сообществ. Таким образом, растительный покров характеризуется микроландшафтной мозаичностью, отражающей влияние локальных факторов среды.

Заключение

1. Применение многоуровневого дизайна пробных площадей (1×1 м и 10×10 м) продемонстрировало высокую эффективность для комплексной оценки структуры растительного покрова, позволяя выявлять пространственные различия между краевыми и внутрилесными участками, обусловленные рекреационной нагрузкой и экотонными эффектами; при этом выявленная пространственная гетерогенность растительности по обеим сторонам экологической тропы свидетельствует о наличии выраженной микроландшафтной

мозаичности, формирующейся под влиянием локальных экологических факторов, таких как дренированность почв, уровень освещенности и интенсивность антропогенного воздействия.

2. Разработанный методический подход обладает высокой степенью универсальности и может быть адаптирован для мониторинга различных лесных экосистем, при условии его дополнения количественными показателями биоразнообразия и регулярного проведения повторных наблюдений каждые месяцев для анализа динамики экосистемных изменений.

Библиографический список

1. Третьяков С. В., Коптев С. В., Наквасина Е. Н. Лесная таксация. Часть 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ //Архангельск: САФУ. – 2023.

2. Описание фитоценозов с оценкой биомассы на различных сукцессионных стадиях развития лесной экосистемы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника / М. В. Тихонова, М. Т. Спыну, Н. А. Александров [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136627. – EDN DZQQYB.

3. Мосина, Л. В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москва : специальность 03.00.16 : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Мосина Людмила Владимировна. – Москва, 2002. – 456 с. – EDN QDWLPR.

4. Жигалева, Я. С. Экологическая оценка биоразнообразия и устойчивости растений в условиях городского леса на примере лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / Я. С. Жигалева, А. В. Бузылев // Вестник МНЭПУ. – 2021. – № S1. – С. 124-132. – EDN QVJNMO.

УДК 630*:581.5.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ, НАКОПЛЕННОГО УГЛЕРОДА И ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДА В ГОРОДСКОМ ЛЕСУ МОСКВЫ «ЛЕСНАЯ ОПЫТНАЯ ДАЧА» РГАУ-МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА ВДОЛЬ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТА

***Санчес Альмейда Луис Энрике**, аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, luisasel@yandex.ru*

***Авдеева Анастасия Васильевна**, аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, neonlight.zero@gmail.com*

*Научный руководитель - **Васенев Иван Иванович** (научный руководитель), д.б.н., профессор кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, vasenev@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** Цель исследования – количественная оценка надземной фитомассы, запаса углерода и продукции кислорода в пяти ключевых участках (КлУ) вдоль топографического градиента моренного холма в Лесной опытной даче (Москва). Проведён сплошной перечёт деревьев с DAP ≥5 см, использованы видовые аллометрические уравнения. Средняя фитомасса составила 233,9 т·га⁻ ¹ (диапазон 120–378 т·га⁻ ¹). ANOVA не выявил значимых различий между участками ($p>0,05$), однако анализ главных компонент (PCA) выделил два градиента: продуктивность–топография (53,9% дисперсии) и возраст–густота–доля хвойных (42,9% дисперсии). Наибольшая продуктивность приурочена к нижним частям склона. Старовозрастные хвойные насаждения с низкой густотой формируют мозаичную структуру, благоприятную для биоразнообразия. Результаты полезны для управления городскими лесами.*

Ключевые слова: надземная биомасса, углерод, кислород, аллометрические уравнения, городской лес, топография

Введение. Городские территории ответственны за более 70% глобальных выбросов CO_2 , и к 2050 году доля городского населения достигнет 68% [1]. Городские леса смягчают изменение климата, накапливая углерод и выделяя кислород, а также предоставляют другие экосистемные услуги [2, 3]. Для точной оценки биомассы используют аллометрические уравнения, однако уравнения, разработанные для сельских лесов, систематически недооценивают биомассу городских деревьев (погрешность 30–50%) из-за различий в архитектуре кроны и стрессовых условиях [4–6]. Рекомендуется применять видоспецифичные локально калиброванные уравнения [4, 7].

В Лесной опытной даче (ЛОД) Дубенок и др. [1] сообщили, что 1 га городского леса продуцирует примерно 10 т O_2 в год, а весь массив поглощает 3000 т CO_2 . На национальном уровне Филипчук и др. [8] оценили запас углерода в живой биомассе российских лесов в 46,9±0,4 Гт С. Однако эти исследования не учитывают распределение углерода по видам деревьев и внутриландшафтную топографическую изменчивость.

Целью работы является количественная оценка запасов углерода и продукции кислорода в древесном ярусе на пяти участках вдоль топографического градиента в ЛОД с использованием видоспецифических аллометрических уравнений. Эта цель достигается путем выполнения следующих задач: (1) оценить фитомассу по видам и участкам; (2) рассчитать углерод (коэфф. 0,5) и кислород (коэфф. 2,67); (3) сравнить участки и виды статистически; (4) определить наиболее продуктивные виды и топопозиции.

Объекты и методы. Лесная опытная дача РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, 55°50′ с.ш., 37°14′ в.д.) – комплексный природный заповедник. Трансект, заложенный в 2005 г., проходит по пяти контрастным формам мезорельефа моренного холма (средний уклон 3°). Ключевые участки (КлУ) (Рис. 1).

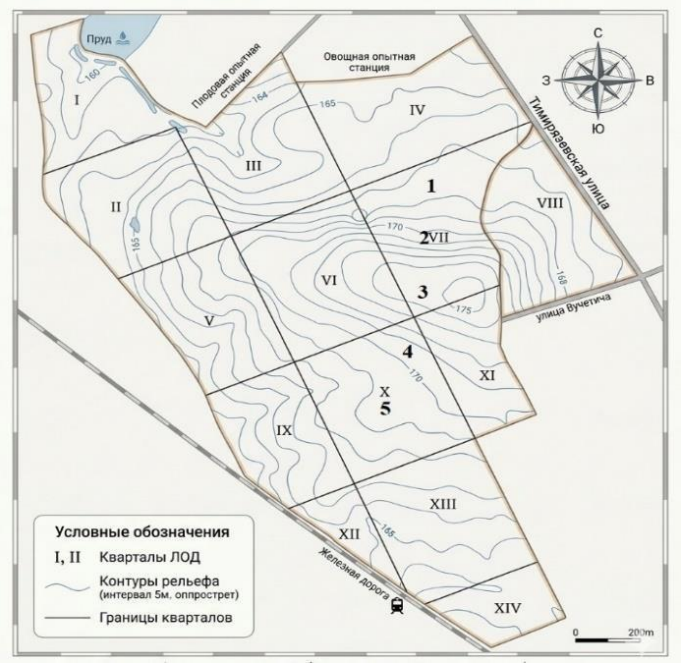


Рис 1. Схема расположения ключевых участков (КлУ 1 – 5) на моренном холме ЛОД Тимирязевской академии

1 – подножие северо-восточного склона, 2 – средняя часть северо-восточного склона, 3 – вершина, 4 – средняя часть юго-западного склона, 5 – подножие юго-западного склона.

Площадь каждого участка – 2500 м². Проведён сплошной перечёт всех деревьев с DAP ≥5 см: фиксировали вид, измеряли DAP (мерная вилка, 0,1 см).

Была измерена высота деревьев, при этом в качестве эталона использовалась модель Vertex. Древостой представлен: Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), Дуб черешчатый (*Quercus robur*), Липа мелколистная (*Tilia cordata*), Береза повислая (*Betula pendula*), Клен остролистный (*Acer platanoides*), Лиственница сибирская (*Larix sibirica*), Тополь (*Populus sp.*), Ель европейская (*Picea abies*). Использованы видоспецифические уравнения вида $AGB = a \times DBH^b$, или логарифмические. В таблице 1 приведены окончательные уравнения с коэффициентами.

Таблица 1

Аллометрические уравнения для расчёта надземной фитомассы (AGB, кг) по DBH (см) для древесных пород ЛОД

Вид (русский, латынь)	**Рекомендуемое уравнение**	**Источник (Автор, год)**
Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*)	ln(AGB) = -2.131 + 2.314 × ln(DBH)	Usoltsev et al. (2019) [9]
Дуб черешчатый (*Quercus robur*)	ln(AGB) = -1.987 + 2.168 × ln(DBH)	Usoltsev et al. (2020) [9]
Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	AGB = 0.102 × (DBH² × H)^0.892	Gabdelkhakov & Konovalov (2018) [9]
Береза повислая (*Betula pendula*)	ln(AGB) = -2.315 + 2.405 × ln(DBH)	Utkin & Zamolodchikov (1996) [10]
Клен остролистный (*Acer platanoides*)	AGB = 0.085 × DBH^2.456	Usoltsev (2015) [9]
Лиственница сибирская (*Larix sibirica*)	AGB = 0.096 × DBH^2.388	Li et al. (2019) [9]
Тополь (*Populus* sp.)	AGB = 0.089 × DBH^2.475	Usoltsev et al. (2019) [9]
Ель европейская (*Picea abies*)	AGB = 0.120 × DBH^2.314	Usoltsev (2018) [9]

Фитомасса на пробной площади ($B_{площадь}$, кг) – сумма фитомасс всех деревьев. Пересчёт на гектар:

$$B_{га} = B_{площадь} \times \frac{10000}{2500};\ C_{запас} = B_{га} \times 0{,}5;\ O_{2,прод} = C_{секвестрированный} \times 2{,}67$$

Статистический анализ выполнен в jamovi v2.6 (R, пакеты car, psych). Для каждого участка рассчитаны описательные статистики. Проверка нормальности (Шапиро-Уилк) и гомогенности (Ливинь), затем однофакторный ANOVA с post-hoc Тьюки. Корреляции – по Спирмену. PCA с варимакс-вращением, проверка адекватности (KMO, критерий Бартлетта). Дизайн исследования – высокодетальный, без независимых повторностей; результаты интерпретируются как разведочные.

Результаты и обсуждение. Средняя фитомасса – 233,95±109,35 т·га⁻¹ (CV=46,7%), диапазон 120–378 т·га⁻¹ (участки 4 и 3). Густота – 1536±334 шт·га⁻¹ (CV=21,8%), возраст – 108±12 лет (CV=11,2%). Доля хвойных – 32,4% (CV=69,3%). Полученные значения согласуются с данными Дубенка и др. [2] для ЛОД и выше среднероссийских оценок [6, 7] (24,5 т C·га⁻¹), что объясняется старовозрастностью и охраняемым статусом участков.

ANOVA не показал значимых различий по углероду ($F_{4,20}$=0,900; p=0,483) и кислороду. Тест Ливиня подтвердил гомогенность (p=0,072), Шапиро-Уилк – нормальность остатков (W=0,937; p=0,123). Отсутствие значимых различий при большом разбросе значений объясняется малым числом повторностей (n=5) и тем, что акцент сделан на детальной характеристике, а не на сравнении средних.

Ранговый коэффициент Спирмена показал совершенную связь между фитомассой и углеродом (ρ=1,00; p=0,017) – математическое следствие. Продукция кислорода отрицательно коррелирует с долей хвойных (ρ=-0,700; p=0,233), но незначимо из-за малой выборки.

Анализ главных компонент (PCA) выявил внутреннюю структуру данных. Критерий Бартлетта: $\chi^2=\infty$, p<0,001; KMO=0,500 (пороговое значение). Выделено два компонента,

объясняющих 96,8% дисперсии (рис. 2). Первый компонент (53,9%) – продуктивность и топография: высокие нагрузки (>0,96) у фитомассы, углерода, кислорода и топопозиции (0,866). Участки с большей продуктивностью (КлУ 2 и 3) приурочены к нижним частям склона.

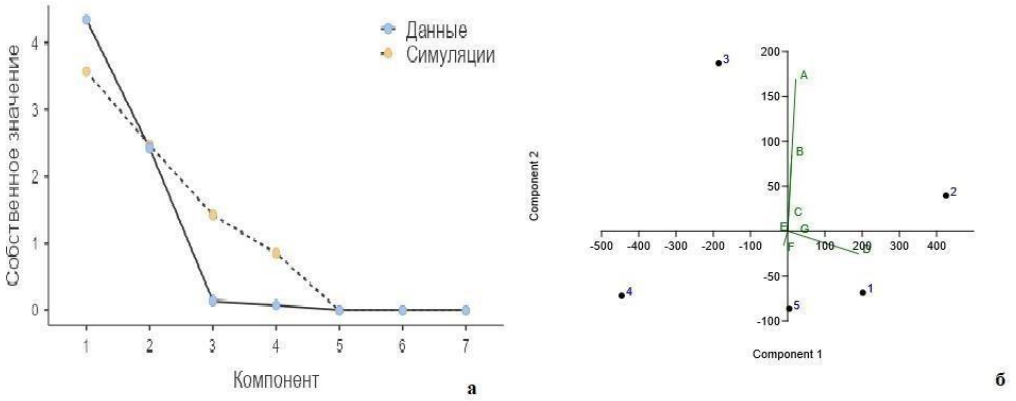


Рис 2. Результаты анализа главных компонент: а – график собственных значений (scree plot); б – биплот (нагрузки переменных и координаты участков КлУ 1–5)

Это соответствует данным для смешанных лесов Подмосковья [11]. Второй компонент (42,9%) – возраст–густота–доля хвойных: густота (-0,971) противостоит возрасту (0,966) и доле хвойных (0,859). Участок 4 (старый, 65% хвойных) имеет низкую густоту – эффект самоизреживания.

Первый градиент показывает, что участки в нижней части склона (лучшее увлажнение, мощные почвы) обладают более высоким потенциалом секвестрации углерода. Второй градиент указывает, что старовозрастные хвойные насаждения с низкой густотой создают мозаичную структуру, повышающую биоразнообразие.

Заключение. В лесопарке ЛОД выявлена высокая пространственная изменчивость надземной фитомассы (120–378 т·га$^{-1}$), запаса углерода (60–189 т C·га$^{-1}$) и продукции кислорода (4–13 т O_2 ·га$^{-1}$·год$^{-1}$), обусловленная топографическим градиентом и видовым составом.

ANOVA не показал статистически значимых различий между участками из-за малого числа истинных повторностей (n=5). Это подчёркивает необходимость увеличения числа пробных площадей в будущих исследованиях.

PCA выявил два независимых градиента: (а) продуктивность–топография – участки у подножия склона накапливают больше биомассы; (б) возраст–густота–доля хвойных – старовозрастные хвойные насаждения с низкой густотой формируют мозаичную структуру.

Для максимизации экосистемных услуг при лесоустройстве в Москве рекомендуется: сохранять старовозрастные хвойные участки; при создании новых насаждений отдавать предпочтение нижним частям склонов; включать в мониторинг видоспецифические аллометрические уравнения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на увеличение числа реплик (не менее 15–20 участков на топопозицию) и включение почвенного пула углерода.

Библиографический список

1. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized environment of Moscow. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2019;14(2):154-161. DOI:10.22363/2312-797X-2019-14-2-154-161.

2. Ananyeva, N.D., Ivashchenko, K.V., Urabova, S.A. et al. Approach to the Integral Assessment of Soils in Moscow Forest Parks in the Context of Ecosystem Services and Disservices. Eurasian Soil Sc. 57, 2208–2221 (2024). https://doi.org/10.1134/S1064229324602373

3. Boukili V.K.S., Bebber D.P., Mortimer T., et al. Assessing the performance of urban forest carbon sequestration models. Urban Forestry & Urban Greening. 2017;24:212-221. DOI:10.1016/j.ufug.2017.03.015.

4. Lee S., et al. Estimating aboveground volume of diverse urban tree species. Urban Forestry & Urban Greening. 2024;94:128245. DOI:10.1016/j.ufug.2024.128245.
5. Usoltsev V.A. Формулы и параметры аллометрических уравнений для основных лесообразующих пород Евразии. Екатеринбург: Уральский ГЛТУ, 2018 (и последующие работы Usoltsev et al., 2019, 2020; Usoltsev, 2015, 2018).
6. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г. Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: перспективы метода поучастковой аллометрии. Лесоведение, № 2, с. 38-54
7. Сорокин А.С., Телеснина В.М., Подвезенная М.А., Мешалкина Ю.Л., Манакова О.И., Самсонова В.П., Кондрашкина М.И., Дядькина С.Е., Чекин М.Р., Ильичев И.А., Кулачкова С.А., Филиппова О.И. Оценка основных пулов углерода в смешанных лесах Московской области // Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение. 2025. № 3. с.30-41 https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-3-30-41.

УДК 631.95: 636.03

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПАСТБИЩНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ КРЕСТЬЯНСКОГО (ФЕРМЕРСКОГО) ХОЗЯЙСТВА «КОРНЕВО»

Родионов Алексей Викторович, *аспирант кафедры Экологии института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, alrod1on0v@yandex.ru*
Научный руководитель - ***Ярославцев Алексей Михайлович,*** *к.б.н., доцент кафедры Экологии института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н.Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, yaroslavtsevam@rgau-msha.ru*

Аннотация*. В условиях глобальных климатических изменений и необходимости верификации региональных кадастров выбросов парниковых газов (ПГ) актуальной задачей становится детальная оценка эмиссии от агроэкосистем умеренной зоны. Целью исследования является экологический мониторинг потоков ПГ на пастбищных агроландшафтах Московской области на базе крестьянского (фермерского) хозяйства молочного направления. Ведущим методом оценки почвенного дыхания выступал камерный метод с использованием закрытой динамической камеры, дополненный информацией о метеорологических условиях территории исследования. Полученные данные характеризуют эмиссионную активность почв луговых агроландшафтов, что говорит о пригодности использование данной методики для оценки почвенного дыхания в системе экологического мониторинга пастбищных агроландшафтов Московской области*
Ключевые слова*: экологический мониторинг, пастбищный агроландшафт, камерный метод, парниковые газы.*

Пастбищные агроландшафты представляют собой сложные биогеохимические системы, в которых процессы эмиссии и секвестрации углерода определяются взаимодействием абиотических факторов (температура, влажность почвы, метеорологические условия) и биотических компонентов (растительный покров, почвенная микробиота, деятельность животных) [1-6]. Точная количественная оценка потоков ПГ на таких территориях требует применения методов, обеспечивающих высокое временное разрешение и минимальное нарушение естественных условий функционирования экосистемы.

Исследования проводились на территории крестьянского (фермерского) хозяйства «Корнево», расположенного в Истринском районе Московской области. Хозяйство

специализируется на молочном скотоводстве с системой открытого выпаса крупного рогатого скота на луговых пастбищах. Почвы на территории характеризуются как дерново-подзолистые.

Для оценки эмиссии CO_2 из почвы применялся камерный метод с использованием автоматизированной почвенной камеры CFLUX-1 (PP Systems, Великобритания). Принцип метода основан на регистрации изменения концентрации газа в замкнутом объёме камеры, установленной на почвенную поверхность. Также, данное оборудование обеспечивает расчет интенсивности почвенного дыхания.

Кроме измерений параметров почвенного дыхания, на территории исследования происходил непрерывный сбор агроклиматических данных, таких как температура и влажность воздуха, почвы, атмосферное давление, фотосинтетически активная радиация (ФАР).

Измерения на объекте исследования проводились с 23 сентябре по 29 сентября 2025. Камера измерения почвенного дыхания производила замеры с интервалом в 30 минут. Одновременно с отбором газовых проб регистрировались температура и влажность почвы на глубине 10 и 20 см и метеорологические параметры (температура и влажность воздуха, атмосферное давление).

Для обработки данных, проведение корреляционного анализа по методу Пирсона, а также, построение графика суточной динамики концентраций диоксида углерода использовалась статистическая среда R (v4.4.1).

Мониторинг газового режима пастбищного агроландшафта выявил четкую суточную периодичность изменения концентрации диоксида углерода (рис. 1).

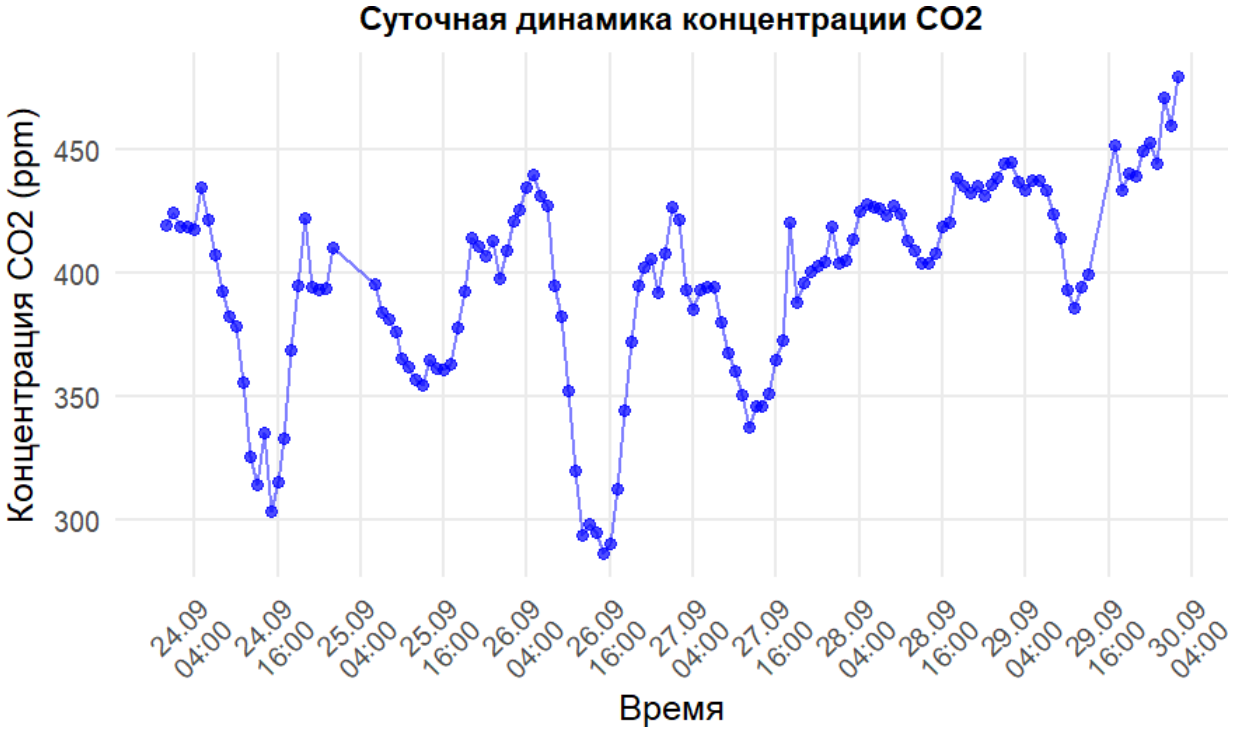


Рис.1 График суточной динамики концентрации диоксида углерода

Анализ полученных данных за рассматриваемый период наблюдений показал, что концентрации CO_2 варьировались в диапазоне от 280 до 480 мкмоль моль$^{-1}$. Размах суточных колебаний составил в среднем 100–150 мкмоль моль$^{-1}$, что указывает на высокую биологическую активность агроценоза. Минимальные значения концентрации (300–350 мкмоль моль$^{-1}$) фиксировались в период с 12:00 до 16:00. Наиболее выраженные суточные колебания наблюдались 26 и 27 сентября. В эти дни дневные минимумы опускались до 280-300 мкмоль моль$^{-1}$, а ночные максимумы достигали 450-480 мкмоль моль$^{-1}$. Такие значения

могут свидетельствовать о высокой биологической активности лугового агроценоза даже в конце вегетационного сезона.

Дневные минимальные значения совпадают с периодом максимальной ФАР, когда травянистая растительность выступает эффективным стоком углерода. Интенсивный фотосинтез в период 12:00–16:00 приводит к быстрому снижению концентрации CO_2 в приземном слое. Ночная же аккумуляция характерна в условиях выделения CO_2 корневой системой растений и почвенной микробиотой при отсутствующем фотосинтетическом потреблении.

Таблица 1

Коррелограмма интенсивности почвенного дыхания (Rs) и экологических факторов среды

(Tair – температура воздуха; Tsoil – температура почвы; SWC – влажность почвы; CO_2 – концентрация CO_2 в приземном слое; Atm – атмосферное давление)

	Rs	Tair	Tsoil	SWC	CO_2	Atm	ФАР
Rs	1	-0,35	-0,59	-0,66	0,68	0,63	-0,24
Tair		1	0,06	0,04	-0,84	-0,23	0,68
Tsoil			1	0,97	-0,28	-0,94	0,04
SWC				1	-0,34	-0,9	0,12
CO2					1	0,43	-0,73
Atm						1	-0,18
ФАР							1

Корреляционный анализ (таблица 1) по методу Пирсона выявил умеренную отрицательную связь между показателем Rs и влажностью почвы (r = -0,66), что может свидетельствовать об изменении активности почвенной микробиоты или ограничении миграции почвенных газов при высоком водоудержании. Кроме того, была определена значимость такого параметра, как температура почвы (r = –0,59). Полученные отрицательные корреляции с рассматриваемыми параметрами почвенного среды скорее всего указывают на доминирующую роль эдафических факторов в регуляции нелинейной составляющей почвенного дыхания.

Кроме отрицательных взаимосвязей, были выявлены умеренные положительные связи Rs с концентрацией CO_2 и атмосферным давлением. Положительная связь (r = 0,68) Rs с концентрацией CO_2 понятна и обусловлена тем, что периоды высокой эмиссии сопровождаются накоплением газа в приземном слое. Однако, полученная связь с атмосферным давлением не так типична для подобного рода исследований. Сопоставление динамики потока CO_2 и атмосферного давление показало, что изменение давления на 20 мбар создавало поток в 1 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$. Подобная зависимость указывает на проявления эффекта барометрической накачки (*pressure pumping*) [7]. Оно характеризуется тем, что при изменениях атмосферного давления создаются градиенты давления между атмосферой и почвенными порами, что усиливает конвективный перенос газа помимо диффузного механизма. Барометрическая накачка может появляться в условиях высокой скорости ветра, неоднородности рельефа изучаемой территории или быстрого изменения атмосферного давления. Тем самым, создается «искусственный» поток диоксида углерода, который не полностью отражает биологическую активность почвы, а включает в себя физический компонент переноса, что нужно учитывать при дальнейшем изучении рассматриваемой агроэкосистемы.

Полученные результаты говорят о том, что в условиях пастбищных экосистем Московской области в осенний период газообмен характеризуется высокой амплитудой

суточных колебаний CO_2 , определяемой балансом фотосинтеза и дыхания. Интенсивность почвенного дыхания (Rs) демонстрирует сложную зависимость от среды, отрицательно коррелируя с температурой и влажностью почвы, что отличает его динамику от классической скорости почвенного дыхания и может служить индикатором изменения условий аэрации в данных климатических условиях или же другого фактора, неисследованного в рамках данного сезонного наблюдения.

Показатель интенсивности почвенного дыхания (Rs) демонстрирует умеренную отрицательную корреляцию с влажностью (r = –0,66) и температурой почвы (r = –0,59), что отличает его от классической скорости дыхания и может отражать влияние субстратной доступности, диффузионных ограничений или стрессового ответа микробиоты.

Выявленная положительная корреляция Rs с атмосферным давлением (r = 0,63) и концентрацией CO_2 (r = 0,68), указывающая на существенный вклад физических процессов переноса (барометрической накачки) в измеряемые потоки.

Измерение потоков CO_2 камерным методом обеспечило достаточное временное разрешение и точность измерения для детального анализа внутрисуточной изменчивости почвенного дыхания и его зависимости от агроклиматических параметров, что делает данный метод перспективным для интеграции в системы долгосрочного экологического мониторинга пастбищных агроэкосистем.

Библиографический список

1. Gavrilova O., Leip A., Dong H., et al. Emissions from Livestock and Manure Management // 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. – Geneva: IPCC, 2019. – 212 p.
2. Soussana J.-F., Lutfalla S., Ehrhardt F., et al. Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000' initiative // Soil and Tillage Research. – 2019. – Vol. 188. – P. 3–10.
3. Chadwick D.R., Pain B.F., Brookman S.K.E. Nitrous oxide and methane emissions following application of animal manures to grassland // Journal of Environmental Quality. – 2000. – Vol. 29, № 1. – P. 277–287.
4. Курганова И.Н., де Гераниу Лопес К. Потоки парниковых газов в экосистемах России: современное состояние исследований // Почвоведение. – 2022. – № 5. – С. 567–580.
5. Блажнов А.Б., Москаленко Н.В., Дмитриева Л.А. Методы оценки эмиссии парниковых газов в агроэкосистемах: обзор современных подходов // Агрохимия. – 2023. – № 4. – С. 45–58.
6. Eismann M.-S.R., Smit H.P.J., Poyda A., et al. Combining the Eddy Covariance Method and Dry Matter Intake Measurements for Enteric Methane Emission Estimation from Grazing Dairy Cows // Atmosphere. – 2024. – Vol. 15, № 11. – Art. 1269. – DOI: 10.3390/atmos15111269.
7. Takle, E.S., Massman, W.J., Brandle, J.R., Schmidt, R.A., Zhou, X., Litvina, I.V., Garcia, R., Doyle, G., Rice, C.W. (2004). Influence of high-frequency ambient pressure pumping on carbon dioxide efflux from soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 193–206.

УДК 574.38

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО *(Acer negundo L.)* В ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОМ ПАРКЕ «ИЗМАЙЛОВО»

Савиткин Александр Леонидович, *аспирант кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, SanyaNeSpi@yandex.ru*

Научный руководитель - ***Андреева Ирина Викторовна****, доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, i.andreeva@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В статье представлены результаты оценки устойчивости зелёного массива в природно-историческом парке «Измайлово» к внедрению инвазивного вида Acer negundo. На трёх трансектах, заложенных поперёк 100-метрового массива, установлено, что при пиковой сомкнутости крон 0,8 и доминировании в древостое Acer platanoides с подростом из того же вида центральное ядро шириной 40 м практически полностью свободно от инвайдера — встречаются единичные нежизнеспособные всходы. Глубина проникновения клёна ясенелистного не превышает 20 м. Наибольшая плотность его подроста (35 шт./100 м²) отмечена вблизи трамвайных путей. Массив сохраняет устойчивость при сомкнутости крон не ниже 0,7.*

Ключевые слова: *инвазивный вид, клен ясенелистный, окраинные зоны.*

В настоящее время проблема инвазии стоит крайне остро, в том числе и в границах города Москве. в Законе г. Москвы от 13.11.2024 № 27 «Об охране и использовании зеленого фонда» [1] впервые появляется термин «инвазивные растения», а также перечислены их признаки. Во исполнение Закона принято Постановление Правительства Москвы от 3 марта 2026 года № 369-ПП «О мерах по регулированию распространения и численности инвазивных растений на территории города Москвы» [2], в котором представлен список растений агрессоров, разделенный на 4 группы, по степени их опасности.

Особое внимание хочется уделить одному из немногих представителей древесных растений, попавшему в этот список - клену ясенелистному *(Acer negundo L.).* Растение представляет опасность не только жизни и здоровью граждан в границах жилых и досуговых зон, но также и функционированию экосистем [5]. Исследования польских ученых показали, что клен ясенелистный не только изменяет видовой состав и таксономическое разнообразие, но и перестраивает процессы формирования сообществ, а также влияет на филогенетическую структуру подлеска дубово-грабовых лесов [3]. Более того, A. negundo способствует укоренению нитрофильных высокотравных видов с высокой конкурентоспособностью [4]. Российские исследования также подтверждают высокую инвазионную активность данного вида: A. negundo формирует монодоминантные сообщества, подавляя аборигенные фитоценозы, причём его экспансия особенно успешна на антропогенно нарушенных территориях [6]. Кроме того, инвайдер способен изменять микробиологическую и ферментативную активность почв, что создаёт дополнительные конкурентные преимущества перед нативными видами [7].

На текущий момент в открытом доступе отсутствуют данные о видовом составе, возрастной структуре и пространственном распределении инвазивных видов на природных территориях города Москвы.

Для оценки устойчивости массива к внедрению инвазивного вида Acer negundo заложили 3 маршрута шириной 10 м (рисунок 1), ориентированных поперёк массива – перпендикулярно его длинным границам, от Народного проспекта до Вернисажной улицы. Длина каждого маршрута составляла 100 м, что соответствует ширине массива.

В пределах каждого маршрута выполняли: сплошной перечёт всех взрослых деревьев клёна ясенелистного, оценку густоты и породного состава подроста, а также определение степени сомкнутости крон основного древостоя. Сомкнутость крон измеряли визуально с использованием сетчатого шаблона и выражали в десятых долях. Пиковое значение сомкнутости крон, зафиксированное в наиболее сохранившейся части массива, составило 0,8. Древостой на всех маршрутах был представлен преимущественно клёном остролистным (*Acer platanoides*) и липой мелколистной (*Tilia cordata*). Подрост В основном представлен клёном остролистным.

Характеристика маршрутов

Маршрут №1 был заложен вблизи поворота трамвайных путей. Данный маршрут находился в зоне постоянного воздействия транспортной инфраструктуры. Сомкнутость крон в центральной части маршрута достигала 0,75–0,8, в приграничных полосах снижалась до диапазона 0,5-0,65.

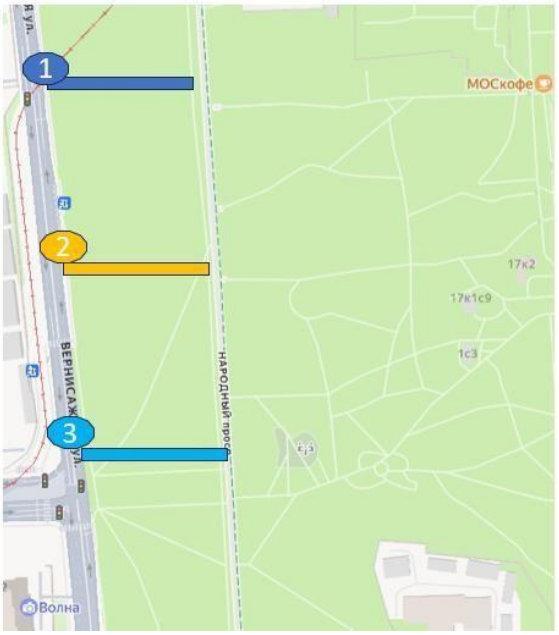


Рис. 1. Схема расположения маршрутов

Маршрут №2 был заложен на расстоянии 125 м от первого. Эта зона характеризовалась умеренной антропогенной нагрузкой. Сомкнутость крон в центральной части 0,7–0,75, в приграничных зонах 0,5–0,6.

Маршрут №3 был заложен на расстоянии 250 м от первого, у входа в парк. Данный маршрут находился в зоне интенсивной рекреационной нагрузки: высокая плотность пешеходных троп, наличие бытового мусора. При этом со стороны Народного проспекта опушечный полог сохранился лучше благодаря буферной зоне из кустарников. Сомкнутость крон в центральной части составляла 0,75–0,8, на окраинных точках 0,5-0,6

Маршрут № 1 характеризовался наиболее высокой плотностью подроста Acer negundo. В приграничной полосе со стороны Вернисажной улицы плотность всходов и мелкого подроста инвайдера достигала 35 шт./100 м², а доля Acer negundo в общем подросте составляла 24%. В приграничной полосе со стороны Народного проспекта плотность подроста ивазивного вида была ниже – 12 шт./100 м², а его доля не превышала 5%. В центральном части Acer negundo отсутствовал.

Маршрут №2 демонстрировал минимальную плотность подроста Acer negundo среди всех трёх маршрутов. В приграничной полосе со стороны Вернисажной улицы плотность всходов и мелкого подроста инвfpbdyjuj dblf составляла 12 шт./100 м², а доля Acer negundo в подросте – 11%. В приграничной полосе со стороны Народного проспекта плотность подроста инвайдера не превышала 6 шт./100 м², а его доля составляла 5%. В центральной части отмечены единичные угнетённые всходы (1–2 шт./100 м²).

В приграничной полосе маршрута № 3 со стороны Вернисажной улицы плотность всходов и мелкого подроста клена ясенелистного составляла 25 шт./100 м², а его доля в подросте – 18%. В приграничной полосе со стороны Народного проспекта плотность подроста инвазивного вида составляла 8 шт./100 м², а его доля – 6%. В центральном части обнаружено несколько взрослых деревьев Acer negundo.

На всех трёх маршрутах глубина устойчивого проникновения Acer negundo от каждой из границ не превышает 20 м. При общей ширине массива 100 м центральная часть шириной 40 м (от 30 до 70 м от Вернисажной улицы) остаётся практически свободным от инвазивного вида. В этой зоне с сомкнутостью крон 0,7–0,8 Acer negundo либо полностью отсутствует, либо встречается в виде единичных нежизнеспособных всходов.

В центральном части массива (30–70 м, сомкнутость крон 0,7–0,8) затенение у поверхности почвы достигает 80–90%, что делает невозможным выживание всходов клена

ясенелистного. Мощная листовая подстилка из опада клёна остролистного (толщиной 3–5 см) механически препятствует укоренению семян. Подрост клёна остролистного, даже при относительно невысокой густоте (50–65 шт./100 м²), создаёт дополнительное затенение. В приграничных полосах снижение сомкнутости крон до 0,5–0,7 создаёт условия для закрепления инвайдера, однако подрост клёна остролистного здесь более густой (90–110 шт./100 м²) и продолжает доминировать.

Заключение. Зелёный массив шириной 100 м с доминированием клёна остролистного в древостое и подросте обладает высокой устойчивостью к внедрению Acer negundo при сомкнутости крон не ниже 0,7. Глубина проникновения инвазивного вида от границ не превышает 30 м, центральная часть шириной 40 м практически полностью свободна от присутствия жизнеспособных представителей клена ясенелистного.

Библиографический список

1. Об охране и использовании зеленого фонда: Закон г. Москвы от 13.11.2024 № 27. – Текст: электронный // Официальный портал Мэра и Правительства Москвы. – URL: https://www.mos.ru (дата обращения: 22.04.2026).
2. О мерах по регулированию распространения и численности инвазивных растений на территории города Москвы: Постановление Правительства Москвы от 3 марта 2026 г. № 369-ПП. – Текст: электронный // Официальный портал Мэра и Правительства Москвы. – URL: https://www.mos.ru (дата обращения: 22.04.2026).
3. Obidziński A., Kiełtyk P., Błońska A. How does Acer negundo invasion shape plant species diversity in the understory of early oak-hornbeam forests in proximity to a primeval ecosystem // Forest Ecology and Management. – 2025. – Vol. 580. – Article 123164. – DOI: 10.1016/j.foreco.2025.123164
4. Veselkin D.V., Dubrovin D.I., Pustovalova L.A. High canopy cover of invasive Acer negundo L. affects ground vegetation taxonomic richness. – DOI 10.1038/s41598-021-00258-x // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – Article 20758.
5. Senator S.A., Vinogradova Yu.K. Invasive plants of Russia: results of inventory, peculiarities of distribution, and management issues. – DOI 10.1134/S2079086423060130 // Biology Bulletin Reviews. – 2023. – Vol. 13, No. 6. – P. 689–697.
6. Агишев В.С. Стратегия жизни клена ясенелистного (Acer negundo L.) за пределами естественного ареала. Современные научные исследования и инновации. 2016. Вып. 8 (64), с. 30—32.
7. Бухарина И.Л., Кузьмина А.М., Кузьмин П.А. Динамика активности медсодержащих ферментов в листьях древесных растений в условиях крупного промышленного центра (Среднее Поволжье). регион)]. Растительные ресурсы, 2018, вып. 54, нет. 2, стр. 280—289.

УДК 504.5:502.21

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОТОПОВ ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ПАРКА «ЦАРИЦЫНО» ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ СПОРТИВНЫХ ПЛОЩАДОК)

***Шелковичева Ангелина Александровна**, аспирантка кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, lina.shelkovicheva@mail.ru*

*Научный руководитель: **Тихонова Мария Васильевна**, к.б.н., доцент кафедры Экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, tmv@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** В статье рассматривается влияние несанкционированных спортивных площадок на состояние древостоя на территории природно-исторического парка*

«Царицыно». В ходе исследований были проведены мониторинговые исследования по оценке состояния древостоя, выявлен уровень рекреации на участке, категория и посещаемость людей, и физико-химический анализ почв отобранной с участков с разной антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: *Несанкционированные спортивные площадки, антропогенная нагрузка, уровень рекреации, состояние древостоя, природно-исторический парк «Царицыно», оценка древостоя, физико-химические показатели почв*

Введение. На сегодняшний день в природно-историческом парке «Царицыно» более 10 несанкционированных спортивных площадок, в их числе волейбольные, бадминтонные, а также беседки для занятий шашками и шахматами.

Согласно архивным данным и историческим справкам, рекреационное освоение территории природно-исторического парка «Царицыно» началось в конце 1920-х годов. Установлено, что первые спортивные объекты, к которым относились волейбольные площадки – были организованы в 1928 году в непосредственной близости от архитектурного ансамбля Хлебного дома. В 1960-х годах, в связи с развитием прилегающих жилых кварталов Южного административного округа Москвы, на территории парка были дополнительно оборудованы бадминтонные корты и возведены беседки, предназначенные для проведения досуга и «тихих» игр.

В отличие от специально оборудованных и спроектированных зон администрацией парка, подобные несанкционированные объекты влекут за собой механическое повреждение почвенного покрова, уничтожение подлеска и вытеснение некоторых видов флоры и фауны. Изучение последствий стихийных площадок необходимо для разработки эффективных стратегий сохранения биоразнообразия в условиях интенсивного городского давления и повышенной рекреационной нагрузки [1].

Цель исследования – выявить и научно обосновать характер влияния несанкционированных спортивных площадок на качественные и количественные показатели древостоя природно-исторического парка «Царицыно».

В качестве объекта исследования был выбран ключевой участок на территории парка «Царицыно». Участок 2 – Обилие спортивных площадок, сооруженных спортивным сообществом (рис. 1). Участок разделен на зоны 2.1 и 2.2.



Рис. 1 Фрагмент карты-схемы, с расположением ключевого участка, с выделением зон на территории природно-исторического парка «Царицыно»

Предметом исследования выступает – древостой и его состояние в результате антропогенной деятельности и повышенного уровня рекреационной нагрузки.

Полевые и маршрутные исследования проводились в течение 3-х месяцев – август, октябрь, декабрь 2025 года.

Основная часть. На ключевом участке была проведена инвентаризация древостоя, составлены формулы древостоя и оценено их состояние.

Формула древостоя на участке – 6К+4Л.

Доминирование клена остролистного *(Acer platanoides)* на исследуемой территории (60% от общего состава) обусловлено его биологическими особенностями, а именно – высокой регенерационной способностью и активным разрастанием за счет корневой поросли и пневой отпрыски [2].

По морфологическим признакам было проанализировано жизненное состояние 513 деревьев, выявлено общее количество деревьев, которые находятся в отличном, хорошем, удовлетворительном, неудовлетворительном и плохом состоянии.

Общая площадь исследуемого участка была проанализирована и разделена на площади вытоптанной тропиночной сети, где был определен уровень рекреационной нагрузки и не затронутой рекреационной нагрузкой территории (таблица 1).

Таблица 1

Уровень рекреационной нагрузки на исследуемом участке

№ участка	Общая площадь территории участка, $м^2$	Вытоптанная площадь, $м^2$/% от общей площади	Уровень рекреационной нагрузки
2	23226 $м^2$	12385 $м^2$ – 53%	Высокий

Таким образом, анализируя данные можно сделать вывод, что исследуемый участок имеет высокий уровень рекреационной нагрузки.

Комплексная оценка жизненного состояния древостоя природно-исторического парка «Царицыно» показала его ослабленность (средний балл — 1,6). Основными драйверами этого процесса выступают, во-первых, климатические изменения, приводящие к физиологическому стрессу деревьев, а во-вторых, высокая рекреационная нагрузка, усиливающая антропогенную трансформацию почв и повреждение подземных органов растений [3, 4].

Для оценки рекреационной нагрузки был проведен подсчет посетителей, фиксировали их количество на участке за 1 час. Установили различие в количестве посетителей в зависимости от дня недели (будние, выходные), времени (с 13.00 до 14.00) и месяца (рис. 2).

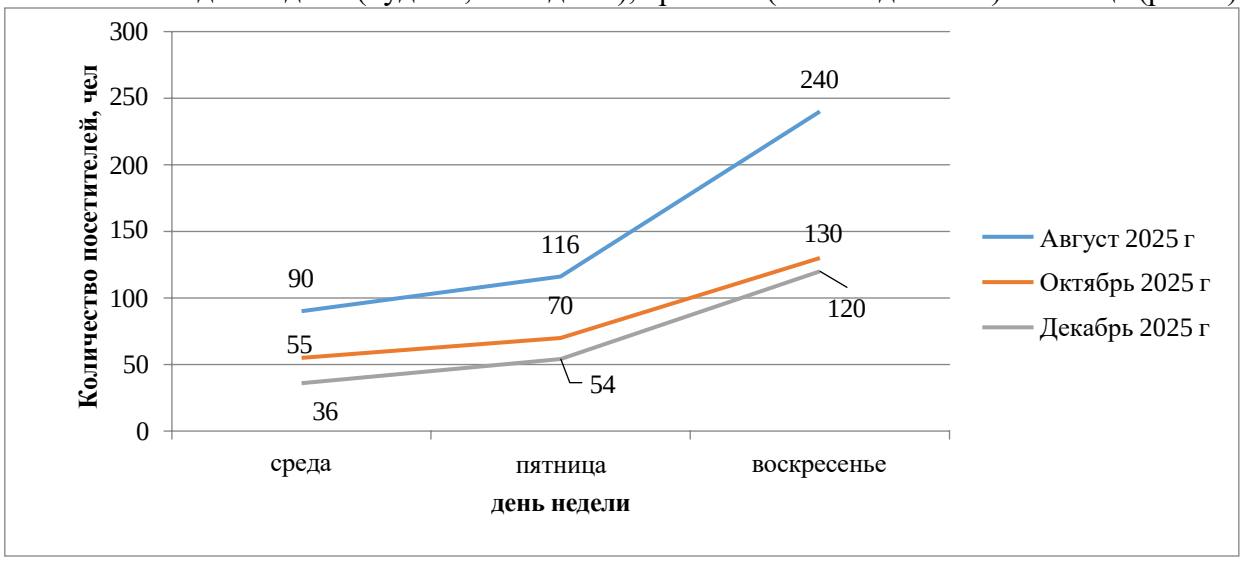


Рис. 2 Диаграмма регистрации посетителей на участках

По полученным данным, можно сделать вывод, что существует прямая зависимость интенсивности физического воздействия на почву на древостой от сезона и дня недели. Максимальная деградация экосистемы на несанкционированных площадках происходит в августе, когда высокая посещаемость сочетается с периодом низкой вегетации растений. Это время обусловлено каникулами, отпусками и благоприятными погодными условиями для занятий спортом на улице [5].

Также в работе были проанализированы физико-химические показатели почвы с территории природно-исторического парка «Царицыно».

Анализ данных показал, что уровни основных макро- и микроэлементов находятся в пределах допустимых нормативов для природных и рекреационных территорий. Показатель актуальной кислотности равен нейтральному – 6,0-6,6 ед. pH (таблица 2).

Таблица 2

Уровни основных макро- и микроэлементов и значение кислотности в почвенных образцах

п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		Образец почвы с несанкционированных тропинок на участке	Образец почвы с нетронутой зоны участка
1	Содержание общего азота, %	0,12	0,39
2	Массовая доля подвижных соединений фосфора P_2O_5, мг/кг	271,2	309,4
3	Массовая доля подвижных соединений калия, мг/кг	76,7	250,6
4	Массовая доля органики, %	3,7	9,8
5	Кислотность (вытяж.соляная), pH.ед.	6,6	6,0

Результаты исследования показывают, что уровни основных макро- и микроэлементов в почвенном образце, который был отобран с несанкционированных тропинок на территории участка значительно ниже, чем в образце почвы, отобранном с нетронутой зоны участка, то есть под деревьями. Особенно это выражено в таких показателях как массовая доля подвижных соединений калия – 76,7 мг/кг и 250,6 мг/кг, массовая доля органики – 3,7% и 9,8% соответственно.

Стоит заметить, что полученные результаты свидетельствуют о необходимости мониторинга и принятии возможных мер по улучшению экологического состояния почв на исследуемом участке с обилием спортивных площадок [6].

Заключение. В ходе мониторинговых исследований было установлено, что состояние древостоя на территории участка с большим количеством несанкционированных спортивных площадок в природно-историческом парке «Царицыно» характеризуется как ослабленное. На участке имеются проблемные деревья. Состояния древостоя согласно экологической оценке на участке определено как ослабленное, коэффициент равен значению 1,6.

На исследуемом участке был выявлен высокий уровень рекреационной нагрузки. При подсчете количества людей на участках в течение трех месяцев – август, октябрь, декабрь. Выявлена посещаемость в большей степени в августе месяце. На участке были отобраны пробы почвы на несанкционированных тропинках и под деревьями и соответственно определены физико-химические показатели – кислотность – 6,0 и 6,6 ед. pH, показатели гумуса – 3,7% и 9,8% и содержание подвижных соединений N –0,12% и 0,39%, P – 271,2 мг/кг и 309,4 мг/кг, K – 76,7 мг/кг и 250,6 мг/кг. Полученные данные позволяют сделать вывод о благоприятных условиях для сохранения природных ландшафтов и биоразнообразия, а также о необходимости регулярного контроля агрохимических показателей для поддержания экологического баланса и предотвращения деградации почвенного покрова [7].

Библиографический список

1. Шелковичева, А. А. Экологическая оценка состояния древостоя в парке «Царицыно» с учетом различного уровня рекреационной нагрузки / А. А. Шелковичева, М. В. Тихонова, А. С. Пономарева // АгроЭкоИнфо. – 2025. – № 5(71). – DOI 10.51419/202155526. – EDN JBFOKE.
2. Жигалева, Я. С. Оценка биологического разнообразия напочвенной растительности в Лесной экосистеме на территории города / Я. С. Жигалева, А. В. Бузылев // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы : материалы II Всероссийской (с международным участием) конференции, приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», Кологрив, 28–29 октября 2021 года / Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный природный заповедник "Кологривский лес" имени М.Г. Синицына". – Кологрив: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный природный заповедник "Кологривский лес" имени М.Г. Синицына", 2021. – С. 187-189. – EDN VSZNSS.
3. Илюшкова, Е. М. Экологическая оценка влияния дорожно-тропиночной сети на почвенные характеристики и состояние древостоя ЛОД РГАУ-МСХА / Е. М. Илюшкова, Е. Б. Таллер // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий, Краснодар, 29–31 марта 2021 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 604-606. – EDN KYXXFT.
4. Monitoring and assessing anthropogenic influence on soil's health in urban forests: The case from Moscow City / E. A. Dovletyarova, V. I. Vasenev, K. V. Ivashchenko [et al.] // Adaptive Soil Management: From Theory to Practices, 2017. – P. 531-557. – DOI 10.1007/978-981-10-3638-5_24. – EDN DVNTVX.
5. Пешеходная доступность как фактор экологической устойчивости городов / Д. М. Бенин, Н. В. Гавриловская, А. А. Ткачев [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2025. – № 5(71). – DOI 10.51419/202155527. – EDN QSZRIN.
6. Описание фитоценозов с оценкой биомассы на различных сукцессионных стадиях развития лесной экосистемы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника / М. В. Тихонова, М. Т. Спыну, Н. А. Александров [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136627. – EDN DZQQYB.
7. Экологическая оценка состояния древостоя на территории природно-исторического парка «Царицыно» / М. В. Тихонова, А. В. Бузылев, Я. С. Жигалева [и др.] // Тимирязевский биологический журнал, 2024. – № 3. – С. 52-60.

ИНСТИТУТ ЗООТЕХНИИ И БИОЛОГИИ
СЕКЦИЯ ЧАСТНОЙ ЗООТЕХНИИ

УДК 58.033:697.92

НОРМИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ КУР-НЕСУШЕК ЯИЧНОГО КРОССА ДЛЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА РЕСПУБЛИКИ КУБА

***Харолд Фонт Пуэнте**, аспирант кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, hfont2022@gmail.com*
***Научный руководитель:** Малородов Виктор Викторович, к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

Аннотация. *Яичная продуктивность кур складывается из многочисленных факторов, в том числе, исходя из нормативного микроклимата и воздухообмена в птичнике, учитывая газовый состав воздуха и равномерность перемещения воздушных потоков в помещении для*

увеличения пика и интенсивности яйценоскости несушек. Экспериментально подтверждена целесообразность применения дополнительной циркуляции воздуха между клеточными батареями с регулированием угла наклона вентиляторов по отношению к полу при содержании промышленного стада кур в продуктивный период.

Ключевые слова: *куры-несушки, микроклимат, индекс равномерности микроклимата, воздухообмен, угол наклона вентиляторов, температура и относительная влажность воздуха*

Введение. Интенсификация яичного птицеводства в жарких регионах с температурой воздуха окружающей среды, длительное время превышающей 30°С, связана с рядом технологических рисков. Для предотвращения теплового стресса у несушек, применяют системы тоннельной вентиляции и испарительного охлаждения, а также охлаждающие панели [1-3]. Экстренные меры (туманообразование, увеличение скорости движения воздуха на уровне птицы) требуются при температуре воздуха в птичнике свыше *32 °С* [4, 5]. Однако, современные системы управления микроклиматом, основанные на поддержании усредненных параметров микроклимата, не учитывают динамику теплообразования птицы в зависимости от возраста, цикла продуктивности, времени суток и сезона года, а также микроклиматическую зональность.

Цель эксперимента – оптимизировать микроклимат в птичниках для содержания промышленного стада яичных кур кросса «Ломанн Белый» в клеточных батареях при нормативной относительной влажности с целью снижения температуры воздуха в течение суток для условий жарких регионов.

Материал и методика исследований. Исследования выполнены в условиях птицефабрики ООО «Липецкптица» Липецкой области с умеренно континентальным типом климата в период с июля 2025 г. по май 2026 г.

Научно-практические исследования проводили в трёх аналогичных производственных корпусах размерами 18х96х3,5 м и площадью 1728 м^2 каждый (объём помещения – 6048 м^3), оснащёнными шестью рядами 5-ярусных 2-рядных клеточных батарей модели «Goliaf» компании «Техна». Площадь клетки – 0,44 м^2 с углом наклона решетки пола клетки – *7°*.

Опыт выполняли по схеме, представленной в таблице 1. В опытных группах 2 (5 шт.) и 3 (8 шт.) для дополнительной циркуляции воздуха в птичниках применяли циркуляционные вентиляторы. В контрольной группе дополнительная циркуляция воздуха в птичнике отсутствовала.

Таблица 1

Схема опыта

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	1 (к)	2	3
Количество циркуляционных вентиляторов, штук	-	5	8
Производительность циркуляционных вентиляторов, тыс. м^3/ч	-	36,5	58,4
Суммарная дополнительная циркуляция воздуха, тыс. м^3/сутки	-	219,0	350,4
Расстояние между циркуляционными вентиляторами в проходе клеточных батарей, м	-	18	11
Угол наклона циркуляционного вентилятора по отношению к полу, град.	-	7	5
Наличие охлаждающих панелей	+	+	+

В эксперименте сформировали 3 группы 22-недельных кур кросса «Ломанн Белый» по 162 головы в каждой, сформированных методом пар-аналогов и содержали до 62-недельного возраста. Начальное поголовье в птичниках составляло 77 тыс. голов кур. В каждой группе индивидуальный учёт зоотехнических показателей несушек проводили, исходя из 9 «контрольных» клеток (по 18 голов в каждой), расположенных в передней торцевой (3 клетки клеточной батареи №1, слева-направо), центральной (3 клетки клеточной батареи №3, слева-направо) и тыльной торцевой (3 клетки клеточной батареи №6, слева-направо) частях

помещения на 1-м, 2-м и 3-м ярусах клеточных батарей соответственно (по диагонали птичника).

С целью повышения равномерности микроклимата и улучшения воздухообмена в птичниках применяли циркуляционные вентиляторы фирмы «Биг Дачмен» (модель 6Е50), каждый производительностью 7300 $м^3$/ч. Воздухообмен в птичниках обеспечивали приточно-вытяжной системой вентиляции, работающей по принципу отрицательного давления (давление воздуха в помещении ниже, чем снаружи помещения).

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ микроклимата в птичниках в ночное время суток указывает на более низкую температуру воздуха в группе 2 – ниже на *0,6 °С* и *0,3 °С* соответственно по сравнению с группами 1 и 3, что может быть связано с увеличенным углом наклона циркуляционных вентиляторов. Аналогичная тенденция наблюдается в дневное время суток – температура воздуха в группе 2 ниже на *0,8 °С* и *0,4 °С* соответственно по сравнению с группами 1 и 3, что может быть связано с включением циркуляционных вентиляторов в дневное время суток согласно схеме. Относительная влажность воздуха практически не отличалась между группами. Наивысшая равномерность микроклимата получена в группе 2 со значением индекса 5,6 единиц, что на 1,7 и 0,1 единиц выше по сравнению с группами 1 и 3 соответственно. Практически идентичные значения ИРМ в группах 2 и 3 указывают на целесообразность и достаточность применения 5 циркуляционных вентиляторов вместо 8, регулируя при этом угол наклона корпуса вентиляторов. На фоне снижения температуры воздуха в птичниках в группах 2 и 3 по сравнению с контрольной снижено потребление воды несушками на 15,2 и 8,7 мл / голову / сутки соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения параметров и индекса равномерности микроклимата, потребления воды за 40-недельный период эксплуатации кур-несушек

Показатель	Группа		
	1 (к)	2	3
Ночная температура воздуха, °С	20,0	19,4	19,7
Дневная температура воздуха, °С	22,4	21,6	22,0
Относительная влажность воздуха, %	58,1	56,7	57,5
Индекс равномерности микроклимата, ед.	3,9	5,6	5,5
Потребление воды, мл / голову / сутки	338,8	323,6	330,1

За период эксплуатации куры практически не отличались между группами и соответствовали оптимальным значениям живой массы, определённым производителем кросса «Ломанн Белый». Изменчивость живой массы кур в группах 2 и 3 составила *6,5 % и 7,0 %*, что ниже на *1,2 % и 0,5 %* соответственно, чем в контрольной группе. Напротив, однородность кур по живой массе в группе 2 – *96,0 %*, что на *1,0 % и 0,3%* выше соответственно по сравнению с группами 1 и 3. Наивысшая сохранность кур получена в группе 2 – *92,6 %*, что на *0,3 % и 0,1 %* выше соответственно по сравнению с группами 1 и 3. За 40 недель содержания куры в группе 2 в расчёте на 1 кг яичной массы израсходовали корма на *0,01 кг* – 0,02 кг меньше по сравнению с группами 1 и 3 соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Зоотехнические результаты содержания кур до 62-недельного возраста

Показатель	Группа		
	1 (к)	2	3
Средняя живая масса, г	1780,1 ± 13,9	1797,9 ± 13,5	1784,5 ± 14,1
Изменчивость живой массы, %	7,7	6,5	7,0
Однородность по живой массе, %	95,0	96,0	95,7
Сохранность, %	92,3	92,6	92,5
Расход корма на 1 кг яичной масссы, кг	2,01	1,99	2,00

Заключение. С целью повышения зоотехнической и экономической эффективности содержания промышленного стада кур яичного кросса «Ломанн Белый» для производства пищевых яиц следует выполнять следующие рекомендации:

1. Для оптимизации температурно-влажностного режима применять индекс равномерности микроклимата (ИРМ) на основании измерений температуры воздуха в различных микроклиматических зонах птичника с учётом частей и сторон помещения, а также ярусности клеточных батарей (16 измерений).

2. Использовать дополнительную циркуляцию воздуха в птичнике в объёме *219000* м^3/сутки. Циркуляционные вентиляторы (5 шт., каждый производительностью *7300* м^3/ч, угол наклона 7°) устанавливать между клеточными батареями в средней части помещения на высоте 2 м от пола на уровне 3-го и 4-го ярусов клеточных батарей в птичнике размером 18 х 96 х 3,5 м.

3. Включать вентиляторы ежедневно с периодичностью через каждые 2 часа 6 раз в сутки с 9 *ч* до 20 ч (1 ч работа: 1 ч пауза) с суммарным временем работы циркуляционных вентиляторов 6 ч / сутки, с 22-недельного возраста кур до завершения продуктивного цикла.

Библиографический список

1. Савчук, И. В., Басуматорова, Е. А. Автоматический микроклимат птичника на многопрофильном сельскохозяйственном предприятии // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – №. 9. – С. 175-178.

2. Влияние температуры окружающей среды на здоровье и продуктивность кур-несушек при клеточном содержании / Ж.Е. Титанов, Ж.Ж. Уахитов, Н.Ж. Кажгалиев [и др.] // Наука и образование. – 2025. – Т. 5. – № 2-5 (79). – С. 95-102.

3. Черноморцева, С. В. Микроклимат птичников и его влияние на физиологическое состояние и продуктивность кур-несушек // Вестник КрасГАУ. – 2006. – №. 6. – С. 268-271.

4. Effects of acute and chronic heat stress on the performance, egg quality, body temperature, and blood gas parameters of laying hens / N.W. Barrett, K. Rowland, C. J. Schmidt [et al.] // Poultry Science. 2019. Vol. 98. P. 6684–6692.

5. Changes in Production Parameters, Egg Qualities, Fecal Volatile Fatty Acids, Nutrient Digestibility, and Plasma Parameters in Laying Hens Exposed to Ambient Temperature / D.H. Kim, Y.K. Lee, S.D. Lee [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. 2020. Jul 17; 7:412.

УДК 58.033:697.92

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА В ПТИЧНИКАХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РЕМОНТНЫХ КУРОЧЕК ЯИЧНОГО КРОССА

***Харолд Фонт Пуэнте**, аспирант кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, hfont2022@gmail.com*

***Научный руководитель:** Малородов Виктор Викторович, к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Яичная продуктивность кур закладывается во время выращивания ремонтного молодняка. В этот период необходимо обеспечить нормативные параметры микроклимата для эффективного достижения оптимальной живой массы ремонтными курочками к моменту их перевода в цех кур-несушек. Экспериментально подтверждена целесообразность применения дополнительной циркуляции воздуха между клеточными батареями с регулированием угла наклона вентиляторов по отношению к полу.*

***Ключевые слова:** ремонтные курочки, микроклимат, индекс равномерности микроклимата, воздухообмен, угол наклона вентиляторов, температура.*

Введение. Наряду с соблюдением нормативного микроклимата для ремонтных курочек, необходимо стремиться к сокращению потребления ресурсов. Системы вентиляции

и отопления являются основными потребителями энергоресурсов в птицеводческих помещениях, за счет оптимизации которых возможно достичь значительного сокращения затрат. Потребление воды напрямую влияет на потребление корма птицей. Этот фактор часто не учитывается при обсуждении микроклимата в птичниках, но температура воды критична, особенно в жарком климате. Нарушение параметров микроклимата приводит к возникновению стресса, снижению сохранности, неравномерности развития стада кур и, как следствие, существенным экономическим потерям. В связи с этим, разработка и совершенствование систем регулирования микроклимата, учитывающих физиологическое состояние птицы, является актуальной задачей, имеющей практическое значение в условиях промышленного яичного птицеводства [1-5].

Цель эксперимента – определение целесообразности применения дополнительной циркуляции воздуха в птичниках для выращивания ремонтного молодняка промышленного стада яичных кур кросса «Ломанн Белый» в условиях микроклиматической зональности между клеточными батареями.

Материал и методика исследований. Исследования выполнены в условиях птицефабрики ООО «Липецкптица» Липецкой области с умеренно континентальным типом климата (температура воздуха окружающей среды на территории производства во время проведения научных исследований в ночные часы от +1 до +12°С; в дневные часы от +7 до +21°С при относительной влажности воздуха от 70 до 80%) в весенне-летний климатический период 2025 г.

Научно-практические исследования проводили в трёх аналогичных производственных корпусах размерами 18х96х3,5 м и площадью 1728 м^2 каждый (производственная площадь, занятая клеточными батареями – 1170 м^2), оснащёнными четырьмя рядами 3-ярусных 2-рядных клеточных батарей этажерочного типа модели «Junior» компании «Техна». Площадь клетки – 0,81 м^2. Ячейка решетки пола клеточных батарей размером 1,6 х 2,5 см.

Опыт выполняли по схеме, представленной в таблице 1. В опытных группах 2 (3 шт.) и 3 (5 шт.) для дополнительной циркуляции воздуха в птичниках применяли циркуляционные вентиляторы. В контрольной группе дополнительная циркуляция воздуха в птичнике отсутствовала. Расстояние между циркуляционными вентиляторами в группе 2 составило 30 м, в группе 3 – 18 м. В опытных группах 2 и 3 в связи с различным количеством применяемых вентиляторов исследовали также угол наклона корпуса вентиляторов по отношению к птице с целью создания охлаждающего эффекта для птицы. Руководствовались принципом увеличения угла наклона по мере уменьшения количества применяемых вентиляторов. В группах применяли аналогичные циркуляционные вентиляторы, что позволило контролировать общий объём дополнительной циркуляции воздуха в птичнике за счёт изменения количества применяемых вентиляторов.

Таблица 1

Схема опыта

Показатель	Группа		
	1 (к)	2	3
Количество циркуляционных вентиляторов, штук	-	3	5
Производительность циркуляционных вентиляторов, тыс. м^3/ч	-	21,9	36,5
Суммарная дополнительная циркуляция воздуха, тыс. м^3/сутки	-	131,4	219,0
Расстояние между циркуляционными вентиляторами в проходе клеточных батарей, м	-	30	18
Угол наклона циркуляционного вентилятора по отношению к птице, градусов	-	7	5

В эксперименте сформировали 3 группы 2-недельных курочек кросса «Ломанн Белый» по 162 головы в каждой, сформированных методом пар-аналогов. В каждой группе индивидуальный учёт зоотехнических показателей курочек проводили, исходя из 9 «контрольных» клеток (по 18 голов в каждой), расположенных в передней торцевой (3 клетки

клеточной батареи №2, слева-направо), центральной (3 клетки клеточной батареи №3, слева-направо) и тыльной торцевой (3 клетки клеточной батареи №2, слева-направо) частях помещения на 1-м, 2-м и 3-м ярусах клеточных батарей соответственно.

С целью повышения равномерности микроклимата и улучшения воздухообмена в птичниках применяли циркуляционные вентиляторы фирмы «Биг Дачмен» (модель 6E50), каждый производительностью 7300 $м^3$/ч, работающие автономно от газогенераторов открытого горения.

Воздухообмен в птичнике обеспечивали приточно-вытяжной системой вентиляции, работающей по принципу отрицательного давления (давление воздуха в помещении ниже, чем снаружи помещения). Программа работы вентиляционной системы настроена по минимальному воздухообмену (не более 1,5 $м^3$/ч/кг живой массы птицы) для весеннего климатического периода года и максимальному воздухообмену (не более 6,0 $м^3$/ч/кг живой массы птицы) для летнего климатического периода года.

Результаты исследований и их обсуждение. Самая низкая температура воздуха в ночное и дневное время суток отмечена в группе 2, в среднем ниже за период выращивания – на 0,3°С в дневное и на 0,4°С в ночное время суток по сравнению с контрольной группой, что связано с увеличенным углом наклона циркуляционных вентиляторов. Диапазон изменений температуры воздуха в ночное и дневное время суток необходимо учитывать для своевременного регулирования микроклимата в аспекте включения системы отопления (в ночное время) и циркуляционных вентиляторов (в дневное время) суток. Относительная влажность воздуха в группах отличилась незначительно в пределах 5,5%. Различные значения индекса равномерности микроклимата в группах указывают на различную равномерность воздухообмена в птичниках. Наивысшая равномерность микроклимата в среднем за период выращивания ремонтных курочек получена в группе 3 со значением индекса 5,1 единиц, что на 2,8 и 1,4 единиц выше по сравнению с группами 1 и 2 соответственно. Применение дополнительной циркуляции воздуха в птичниках и регулирование угла наклона корпуса вентиляторов позволило снизить потребление воды ремонтными курочками на фоне снижения температуры воздуха в группах 2 и 3 на 0,9 и 1,7 мл / голову / сутки соответственно по сравнению с контрольной группой. В расчётах учтены потери воды из-за проливания из ниппелей в количестве 7% от валового расхода (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения параметров и индекса равномерности микроклимата, потребления воды за 16-недельный период выращивания ремонтных курочек

Показатель	Группа		
	1 (к)	2	3
Ночная температура воздуха, °С	21,9	21,6	21,9
Дневная температура воздуха, °С	22,0	21,6	21,9
Относительная влажность воздуха, %	64,5	61,9	59,0
Индекс равномерности микроклимата, единиц	2,3	3,7	5,1
Потребление воды, мл / голову / сутки	84,1	83,2	82,4

Примечание: ИРМ рассчитан на основании 16 измерений температуры воздуха в 8 различных микроклиматических зонах птичника.

Следует отметить, что в течение периода выращивания курочки достигли оптимальных значений живой массы. Между группами не отмечено достоверных отличий, однако отмечается тенденция превосходства групп 2 и 3 над контрольной. В опытных группах 2 и 3 (с дополнительной циркуляцией воздуха в птичнике) за 16-недельный период выращивания ремонтных курочек изменчивость живой массы ниже на 0,4 и 1,1% соответственно, чем в контрольной группе. Напротив, отмечено увеличение однородности ремонтных курочек по живой массе в группах 2 и 3. Наивысшее значение изучаемого показателя получено в группе 3 – на 8,8 и 3,2% выше соответственно по сравнению с группами 1 и 2. Увеличение однородности курочек и снижение изменчивости живой массы курочек может в будущем

оказать благоприятное воздействие на продуктивные показатели кур-несушек, в том числе на равномерное и синхронное начало яйцекладки промышленного стада кур. За период выращивания наивысшая сохранность курочек в группе 3 – 98,8%, что на 3,7 и 1,9% выше соответственно по сравнению с группами 1 и 2. Помимо сбора падежа, по мере необходимости, проводили также выбраковку ремонтных курочек (слабых или не отвечающих требованиям достижения оптимальной живой массы). Так, в группе 1 выбраковано 3,2% курочек, что на 0,7 и 2,0% больше, чем в группах 2 и 3 соответственно. До перевода ремонтных курочек в цех промышленного стада кур-несушек рассчитан деловой выход кондиционных самок. Так, в группе 3 изучаемый показатель составил 97,5%, что на 5,5 и 3,1% выше, чем в группах 1 и 2 соответственно. Наименьший расход корма получен в группе 3 – 4,45 кг, что на 0,06 и 0,02 кг ниже по сравнению с группами 1 и 2 соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Зоотехнические результаты выращивания ремонтных курочек до 16-недельного возраста

Возраст курочек, недель	Группа		
	1 (к)	2	3
Средняя живая масса, г	1215,5±16,5	1232,7±15,7	1246,7±16,0
Изменчивость живой массы, %	9,4	9,0	8,3
Однородность по живой массе, %	76,0	81,6	84,8
Сохранность, %	95,1	96,9	98,8
Выбраковка, %	3,2	2,5	1,2
Деловой выход, %	92,0	94,4	97,5
Расход корма на 1 кг прироста живой масссы, кг	4,51	4,47	4,45

Примечание: количество выбракованных курочек считали от сохранённых.

Заключение. В результате выполненных исследований установлено, что с целью повышения зоотехнической и экономической эффективности выращивания ремонтного молодняка промышленного стада кур кросса «Ломанн Белый» следует выполнять следующие **рекомендации**:

4. Для регулирования микроклимата применять индекс равномерности микроклимата на основании измерений температуры воздуха в различных микроклиматических зонах птичника с учётом частей и сторон помещения, а также ярусности клеточных батарей.

5. Использовать дополнительную циркуляцию воздуха в птичнике в объёме 219,0 тыс. $м^3$/сутки. Циркуляционные вентиляторы (5 шт., каждый производительностью 7,3 тыс. $м^3$/ч, с углом наклона 5 град.) устанавливать между клеточными батареями в средней части помещения на высоте 2 м от пола на уровне 2-го яруса клеточных батарей в птичнике размером 18х96х3,5 м.

6. Включать вентиляторы автономно от системы отопления ежедневно с периодичностью каждые 2 часа 6 раз в сутки с 9 до 20 ч (1 ч работа: 1 ч пауза) с временем работы вентиляторов 6 ч / сутки, с 3-недельного возраста курочек до завершения выращивания.

7. Для снижения температуры воздуха в птичнике регулировать микроклимат с помощью увеличения угла наклона циркуляционных вентиляторов от 5 до 7 градусов по направлению к полу птичника.

Библиографический список

1. Салеева И.П. и др. Микроклимат, вентиляция и газовый состав воздуха в птицеводческих помещениях (обзор) // Птицеводство. – 2016. – №. 6. – С. 44-49.

2. Столяров, О.В. Микроклимат животноводческих и птицеводческих зданий: учебник / О. В. Столяров. – Москва: Инфра-М, 2020. – 208 с.

3. Barrett N.W., Rowland K., Schmidt C.J., Lamont S.J., Rothschild M.F., Ashwell C.M., Persia M.E. Effects of acute and chronic heat stress on the performance, egg quality, body temperature, and blood gas parameters of laying hens // Poultry Science. 2019, 98, 6684–6692.

4. Lacin E. et al. Effects of differences in the initial body weight of groups on laying performance and egg quality parameters of Lohmann laying hens // Czech J. Anim. Sci. – 2008. – Т. 53. – №. 11. – С. 466-471.

5. Nääs I.A., Garcia R.G., Caldara F.R. Climate and environment interactions with the genetic composition of poultry strains: an updated review // Brazilian Journal of Poultry Science. 2014, Vol.16, No.1, P.1–9.

УДК 58.033:697.92

ЗООТЕХНИЧЕСКАЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МЯСНЫХ ПЕРЕПЕЛОВ НА ГЛУБОКОЙ ПОДСТИЛКЕ В УСЛОВИЯХ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

6.

Голентовский Денис Николаевич, *аспирант кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, denis.golen@yandex.ru*

Научный руководитель: *Малородов Виктор Викторович, к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

Аннотация. В производственном птичнике исследована взаимосвязь между неравномерностью воздухообмена и продуктивностью мясных перепелов. Пять групп разместили в разных микроклиматических зонах – от переднего торца до тыльной части, включая центр зала. Наивысшие зоотехнические и экономические показатели получены в центральной зоне: в 70-суточном возрасте средняя живая масса составила 330,6 г, сохранность – 95%, затраты корма 6,08 кг на 1 кг прироста живой массы, уровень рентабельности – 27,3%.

Ключевые слова: перепела, глубокая подстилка, аэростазные зоны, углекислый газ, индекс равномерности микроклимата, продуктивность перепелов.

Введение. В 2023 г. в России произведено 5,3 млн т мяса птицы в убойной массе. Доля перепелиного мяса невелика (менее 1%), однако спрос на перепелиное мясо растёт, а технология производства приближается к бройлерной по интенсивности. При этом перепела отличаются от кур высоким обменом веществ, более чувствительны к изменениям температуры воздуха. Поэтому для них особенно важно равномерное распределение воздушных потоков по всей зоне помещения. Между тем, в холодный период года, в птичниках часто возникают аэростазные зоны – локальные застои воздуха, где накапливаются углекислый газ и аммиак, значительно изменяется влажность, снижается скорость движения воздуха [1-3]. Ряд работ, выполненных на бройлерах, указывают, что продуктивность птицы в разных частях одного зала может различаться на 5-10% [4-6].

Цель работы – определить эффективность выращивания мясных перепелов на глубокой подстилке в зависимости от микроклиматической зональности, оценённой с помощью индекса равномерности микроклимата.

Материалы и методы. Исследование выполнено в декабре 2024 – феврале 2025 г. на предприятии «Тураковский птицеводческий комплекс» (Московская область). Объект – перепела породы фараон. Птичник размером 58×12×3 м оснащён системой вентиляции отрицательного давления: четыре стенных вытяжных вентилятора производительностью 15 000 м³/ч и четыре торцевых – по 56 000 м³/ч, приток через 13 клапанов в правой стене, размещённых на высоте 2 м. Отопление – два газогенератора Ermaf GP 70, расставленные по диагонали: один в начале зала справа, другой в торце слева. С 14-суточного возраста перепелят включали два циркуляционных осевых вентилятора производительностью 8 000 м³/ч каждый, расположенных в середине помещения на высоте 1,6 м от подстилки. Контроллер «Овен ИПП

120» управлял оборудованием по программе минимального воздухообмена, ориентируясь на график температуры и влажности, заданный для холодного периода года.

Суточных перепелят распределили в пять групп по 80 голов в каждой методом случайной выборки. Каждую группу поместили на стационарный участок площадью 1,1 м² в следующих точках: группа 1 – передняя торцевая часть слева, группа 2 – центральная часть справа, группа 3 – по центру зала, группа 4 – центральная часть слева, группа 5 – тыльная торцевая часть справа. Плотность посадки 80 гол./м², на одну кормушку приходилось 40 птиц, на ниппель – 20 голов. Перепелов выращивали до 70 суток.

Изучали следующие зоотехнические показатели: средняя живая масса, сохранность, расход корма на 1 кг прироста, индекс продуктивности перепелов (ИПП). Экономические показатели рассчитывали на 1000 начальных голов с учётом выручки, полной себестоимости и уровня рентабельности. Статистическую обработку вели по Плохинскому (1969) в Excel 2016.

Результаты. Зоотехнические различия стали статистически значимыми с 14-суточного возраста. Группы 1, 3 и 5 (условная диагональ птичника) достоверно превосходили группы 2 и 4. Например, в 28 дней средняя живая масса в центре составляла 227,9 г, а в группе 4 – 211,1 г. В 56 дней разрыв достиг максимума: 299,7 г в группе 3 против 271,5 г в группе 4 ($P \geq 0,95$). К 70 суткам выращивания биологический предел роста перепелов определил отсутствие статистических различий по живой массе (310,3–330,6 г), однако птица из неблагоприятных зон компенсировала отставание в росте только за счёт повышенного потребления корма и сопровождалась большим отходом. Лучшая сохранность (95%) отмечена в группах 1, 3 и 5, в группе 4 она оказалась на 2,5 процентных пункта ниже. Расход корма на 1 кг прироста в центре составил 6,08 кг, тогда как в группе 2 – 6,14 кг. Индекс продуктивности перепелов отличался между группами незначительно (1, 3 и 5 группы превосходят группы 2 и 4) а также между группами 2 и 4 (табл.).

Таблица

Параметры микроклимата и продуктивность перепелов в разных зонах птичника

Показатель	Группа				
	1	2	3	4	5
Средняя живая масса, г	329,5± 7,1 а	315,0± 7,2 а	330,6± 6,9 а	310,3± 7,5 а	329,3± 7,3 а
Сохранность,%	95,0	93,7	95,0	92,5	95,0
Расход корма на 1 кг прироста, кг	6,11	6,14	6,08	6,12	6,12
ИПП, единиц	7,3	6,9	7,4	6,7	7,3
Уровень рентабельности,%	25,7	22,5	27,3	23,9	26,0

Экономические расчёты подтвердили технологические наблюдения: наибольшая выручка и прибыль достигнуты в центральной зоне, где выход мяса в убойной массе на 1000 начальных голов достиг 203,5 кг, что принесло 21,4 тыс. руб. прибыли и обеспечило уровень рентабельности 27,3%. На самом проблемном участке (группа 4) рентабельность не превысила 23,9%.

Характерно, что по мере приближения к убою разность в живой массе становилась статистически незначимой. Перепела из неблагоприятных зон компенсировали отставание в росте, однако это требовало бо´льших затрат корма и сопровождалось повышенным отходом. Следовательно, экономический ущерб от аэростазов заключается не столько в итоговой массе тушки, сколько в снижении сохранности и увеличение расхода корма на 1 кг прироста. Этот вывод перекликается с данными Готовского Д.Г. [1], который наблюдал рост выбраковки кур при локальных застоях воздуха.

Заключение. Данные для перепелов показывают, что компенсация отставания в росте к 70 суткам выращивания (когда различия по живой массе между группами становятся статистически незначимыми) достигается за счёт повышенного расхода корма и снижения сохранности поголовья. В проблемных зонах (группа 4) сохранность ниже на 2,5 п.п., а конверсия корма ниже на 0,04–0,06 кг на 1 кг прироста живой массы. Экономический ущерб от микроклиматической неравномерности выражается именно в этих показателях, а не в финальной массе тушки. Разность в уровне рентабельности между центральной зоной (27,3%) и наихудшей зоной (23,9%) составила 3,4 процентных пункта, что при пересчёте на промышленное поголовье даёт значительные потери прибыли.

Библиографический список

1. Готовский Д.Г. Скрытые локальные аэростазы микроклимата птичников с клеточным содержанием ремонтного молодняка кур // Международный аграрный журнал. 1998. № 4. С. 42–44.
2. Соколов Г.А., Готовский Д.Г. Аэростазы животноводческих помещений. Витебск: ВГАВМ, 2004. 100 с.
3. Османян А.К., Салеева И.П., Малородов В.В., Гайфуллин Р.М. Микроклиматическая зональность в помещениях для выращивания бройлеров в теплый и холодный периоды года // Главный зоотехник. 2019. № 7. С. 52–59.
4. Салеева И.П., Османян А.К., Малородов В.В. Выявление микроклиматических зон в птицеводческом помещении при выращивании бройлеров в теплый период года // Птицеводство. 2019. № 4. С. 41–47.
5. Методические рекомендации по технологическому проектированию птицеводческих предприятий: РД-АПК 1.10.05.04-13 / Виноградов П.Н. и др. М., 2013. 211 с.
6. Скляр А.В., Попов В.А. Особенности регулировки минимального уровня вентиляции в птичниках в холодный период года // Птицеводство. 2024. № 12. С. 61–65.

УДК 58.033:697.92

МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ МЯСНЫХ ПЕРЕПЕЛОВ НА ГЛУБОКОЙ ПОДСТИЛКЕ

Голентовский Денис Николаевич*, аспирант кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, denis.golen@yandex.ru*
Научный руководитель: *Малородов Виктор Викторович, к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

Аннотация. В зимний период в производственном птичнике исследовали связь между неравномерностью воздухообмена и продуктивностью мясных перепелов породы фараон. Пять групп разместили в разных зонах – от переднего торца до тыльной части, включая центр зала. Еженедельно регистрировали концентрацию углекислого газа, температуру, относительную влажность и вычисляли индекс равномерности микроклимата (ИРМ). Диапазон различий по CO_2 достигал 500 ppm, по температуре – 5,5 °C, по влажности – 10,3%. Показана пригодность ИРМ по углекислому газу как экспресс-инструмента для настройки вентиляции в холодный сезон.

Ключевые слова: перепела, глубокая подстилка, аэростазные зоны, углекислый газ, индекс равномерности микроклимата, продуктивность

Введение. Действующие методики контроля микроклимата обычно предписывают измерения в одной-трёх точках по центральной оси птичника. Такой подход не позволяет уловить влияние боковых стен, вытяжных вентиляторов и газогенераторов, от которых зависит реальная картина воздухообмена. Мы предположили, что расчётный индекс,

объединяющий несколько параметров на пяти разнесённых участках, способен объективно отражать наличие микроклиматической зональности и может быть использован для её оперативной оценки. Между тем именно зимой, когда стремятся сохранить тепло, в птичниках часто возникают аэростазные зоны – локальные застои воздуха, где накапливаются углекислый газ и аммиак, меняется влажность, падает скорость движения воздуха [1, 2]. Ряд работ, выполненных на бройлерах, показал, что продуктивность птицы в разных частях одного зала может различаться на 5–10%, а рентабельность – на несколько процентных пунктов [3, 4].

Цель работы – определить эффективность выращивания мясных перепелов на глубокой подстилке в зависимости от микроклиматической зональности, оценённой с помощью индекса равномерности микроклимата.

Материалы и методы. Исследование выполнено в декабре 2024 – феврале 2025 г. на предприятии «Тураковский птицеводческий комплекс» (Московская область). Объект – перепела породы фараон. Птичник размером 58×12×3 м оснащён системой вентиляции отрицательного давления: четыре стенных вытяжных вентилятора производительностью 15 000 м³/ч и четыре торцевых – по 56 000 м³/ч, приток через 13 клапанов в правой стене, размещённых на высоте 2 м. Отопление – два газогенератора Ermaf GP 70, расставленные по диагонали: один в начале зала справа, другой в торце слева. С 14-суточного возраста включали два циркуляционных осевых вентилятора по 8 000 м³/ч, расположенных в середине помещения на высоте 1,6 м от подстилки. Контроллер «Овен ИПП 120» управлял оборудованием по программе минимального воздухообмена, ориентируясь на график температуры и влажности, заданный для зимнего периода.

Суточных перепелят распределили в пять групп по 80 голов методом случайной выборки. Каждую группу поместили на стационарный участок площадью 1,1 м² в следующих точках: группа 1 – передняя торцевая часть слева, группа 2 – центральная часть справа, группа 3 – строго по центру зала, группа 4 – центральная часть слева, группа 5 – тыльная торцевая часть справа. Плотность посадки 80 гол./м², на одну кормушку приходилось 40 птиц, на ниппель – 20. Кормление и поение без ограничений, рационы одинаковые для всех групп и соответствовали нормам ВНИТИП [5].

Параметры микроклимата измеряли еженедельно с 1-х по 70-е сутки, в период с 11 до 14 ч. Датчики размещали на высоте спины птицы (5–12 см от подстилки, по мере роста). Температуру и относительную влажность фиксировали прибором Testo-435, концентрацию CO_2 – газоанализатором СЕАН-Н-CO_2 -5. Все приборы были поверены и калиброваны. Индекс равномерности микроклимата (ИРМ, ед.) рассчитывали отдельно для каждого из трёх параметров по формуле:

$$ИРМ = \overline{X} / \sum \pm \Delta \overline{X}$$, где

ИРМ – индекс равномерности микроклимата, ед.;

$\overline{X}$ – среднее арифметическое значение измерений;

$\sum \pm \Delta \overline{X}$ – сумма положительных и отрицательных отклонений от среднего арифметического значения.

Результаты. Разброс концентрации углекислого газа между точками наблюдения проявился сразу. В суточном возрасте он составил 400 ppm (от 5400 до 5800), что связано с непрерывной работой газогенераторов в режиме прогрева. В дальнейшем, по мере усиления воздухообмена, абсолютные значения снижались до 2300–3100 ppm, но градиент сохранялся: от 300 ppm в 42 суток до 500 ppm в возрасте 7, 14, 21, 28, 35 и 70 суток соответственно. Стабильно минимальные цифры регистрировали в группе 3 (центр), максимальные – в группах 4 и 5, расположенных ближе к вытяжным вентиляторам. Так, в 28 дней в центре было 1900 ppm, в то время как с левой стороны у стены – 2400, а с тыльной правой – 2400 ppm.

Разность между самой тёплой и самой холодной точками достигала 3,5 °C в 1-е сутки, 5,5 °C в 56 суток и 5,0 °C перед убоем. Наиболее высокой температура была в центральной части (группа 3), где в 28 дней зафиксировано 25,6 °C, а в 56 дней – 26,2 °C. К периферии температура снижалась: в тыльной правой зоне (группа 5) в 56 суток было лишь 20,7 °C. Относительная влажность следовала обратной закономерности: в центре она обычно превышала показатели торцевых участков на 5–8%, а её наибольший диапазон в одном возрасте составил 10,3% (7 суток). В целом за период выращивания относительная влажность колебалась от 44,9 до 81,6% (табл.).

Динамика ИРМ хорошо отражала сезонные и режимные изменения. По углекислому газу наивысшая равномерность отмечена в 1 сутки (9,3 ед.), что объясняется почти полным отсутствием сквозного проветривания, затем индекс снижался до 2,5 ед. к 28 дням – моменту интенсивного роста, когда птица потребляет много кислорода и выделяет CO_2 . Включение циркуляционных вентиляторов частично выправляло ситуацию: в 42 дня ИРМ CO_2 увеличился до 5,0 ед. По температуре размах индекса составил от 2,4 до 11,3 ед., по влажности – от 4,0 до 9,3 ед. Пики неравномерности по этим показателям не всегда совпадали, но общий тренд к 49–70 суткам указывал на снижение ИРМ, то есть нарастание зональности к концу откорма.

Таблица

Параметры микроклимата и продуктивность перепелов в разных зонах птичника за 14-70-суточный период выращивания

Показатель	Группа				
	1	2	3	4	5
Средняя концентрация CO_2 в воздухе, ppm	2633	2552	2311	2689	2756
Средняя температура воздуха, °C	24,2	23,8	26,0	23,3	23,0
Средняя относительная влажность воздуха, %	77,2	76,4	74,3	71,3	70,3

Центральная зона (группа 3) отличалась не только наименьшей загазованностью, но и наиболее высокой температурой. Группы 1 и 5, расположенные по диагонали от газогенераторов, занимали промежуточное положение, тогда как зоны у боковых стен (группы 2 и 4) уступали по всем параметрам. Так, средняя температура в центре (26,0 °C) оказалась самой высокой, а концентрация CO_2 — самой низкой (2311 ppm). Однако относительная влажность в группе 3 (74,3%) не была минимальной — в группах 4 и 5 влажность ниже (71,3 и 70,3% соответственно), но это не привело к росту продуктивности. Следовательно, решающее значение имеет не изолированный параметр, а их сочетание: умеренно высокая температура + низкая загазованность + влажность в зоне комфорта (70–75%).

Обсуждение. Полученные результаты согласуются с данными, ранее полученными на бройлерах Салеевой И.П. и Османяном А.К. [3, 4]. В обоих случаях зоны застоя формируются у торцов и боковых стен, где ослаблен поток приточного воздуха. В нашем опыте группы 4 и 5 стабильно имели наиболее высокие концентрации CO_2 и пониженную температуру. Тот факт, что две циркуляционные установки улучшали перемешивание воздушных масс именно в центре, объясняет, почему группа 3 оказалась самой продуктивной. Этого оказалось недостаточно для выравнивания условий по всей площади, но достаточно для демонстрации эффекта.

Индекс равномерности микроклимата, первоначально предложенный [5, 6] для бройлеров, полностью оправдал себя на перепелах. Расчёт по трём параметрам показал, что ИРМ CO_2 наиболее чувствителен к изменениям воздухообмена, тогда как ИРМ по температуре и влажности дополнительно зависит от режима отопления и испарения из подстилки. Для оперативного контроля достаточно измерять концентрацию углекислого газа в пяти точках раз в неделю и вычислять индекс. Ориентиром для зимних условий может служить значение 4,0–5,0 ед.: падение ниже 3,0 ед. в нашем опыте совпадало с периодами наибольших потерь продуктивности. Это хорошо соотносится с рекомендациями Скляра А.В.

[7] по поддержанию разрежения в зале на уровне – 15 Па для равномерного распределения воздуха.

Заключение. Проведённое исследование подтвердило, что в холодный сезон в птичнике для напольного выращивания мясных перепелов на глубокой подстилке формируется устойчивая микроклиматическая зональность. Наиболее отчётливо она проявляется в распределении углекислого газа (разброс до 500 ppm) и температуры (до 5,5 °C), тогда как влажность играет вторичную роль. Однако собственный анализ таблицы 1 позволил выявить неочевидный факт: не всякое отклонение параметров критично. Так, группа 1 (передний торец) при температуре 24,2 °C и CO_2 2633 ppm достигла продуктивности, близкой к центральной зоне, тогда как группы 2 и 4 (у боковых стен) при сходных или даже более низких значениях CO_2 и температуры показали худшую сохранность (92,5–93,7% против 95%) и наименьшую живую массу. Следовательно, решающим фактором является не абсолютный уровень CO_2 или температуры, а равномерность воздухообмена – именно в боковых застойных зонах, даже при умеренной загазованности, нарушена подвижность воздуха, что приводит к хроническому стрессу птицы.

Предложенный индекс равномерности микроклимата по CO_2 оправдал себя как экспресс-инструмент. В нашем опыте падение ИРМ(CO_2) ниже 3,0 ед. совпадало с периодами максимального отставания в росте (28–35 сутки), а значения 4,0–5,0 ед. соответствовали приемлемой равномерности. Для оперативного мониторинга достаточно еженедельного измерения CO_2 в пяти контрольных точках (два торца, две боковые стены, центр) без необходимости расчёта ИРМ по температуре и влажности. Таким образом, цель работы достигнута: доказана связь микроклиматической зональности с продуктивностью перепелов, и предложен практический инструмент её контроля при напольном содержании на глубокой подстилке в зимний период.

Библиографический список

1. Готовский Д.Г. Скрытые локальные аэростазы микроклимата птичников с клеточным содержанием ремонтного молодняка кур // Международный аграрный журнал. 1998. № 4. С. 42–44.
2. Соколов Г.А., Готовский Д.Г. Аэростазы животноводческих помещений. Витебск: ВГАВМ, 2004. 100 с.
3. Османян А.К., Салеева И.П., Малородов В.В., Гайфуллин Р.М. Микроклиматическая зональность в помещениях для выращивания бройлеров в теплый и холодный периоды года // Главный зоотехник. 2019. № 7. С. 52–59.
4. Салеева И.П., Османян А.К., Малородов В.В. Выявление микроклиматических зон в птицеводческом помещении при выращивании бройлеров в теплый период года // Птицеводство. 2019. № 4. С. 41–47.
5. Методические рекомендации по технологическому проектированию птицеводческих предприятий: РД-АПК 1.10.05.04-13 / Виноградов П.Н. и др. М., 2013. 211 с.
6. Малородов В.В. Индекс равномерности микроклимата – способ оценки воздухообмена в птичниках // Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продуктов животноводства. М.: РГАУ-МСХА, 2022. С. 326–329.
7. Скляр А.В., Попов В.А. Особенности регулировки минимального уровня вентиляции в птичниках в холодный период года // Птицеводство. 2024. № 12. С. 61–65.

УДК 58.033:697.92

ВЫРАЩИВАНИЕ БРОЙЛЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ КУР РОДИТЕЛЬСКОГО СТАДА РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА, В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ РАВНОМЕРНОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА

Малородов Виктор Викторович, *к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В статье приведены результаты эксперимента по определению зависимости продуктивности бройлеров от возраста кур родительского стада от которых*

получено поголовье финального гибрида. Опыт был выполнен в условиях оптимизированного микроклимата, параметры которого установили в предыдущих исследованиях. Установлено, что в условиях микроклимата, оптимизированного за счет обеспечения дополнительной циркуляции воздуха в помещении, наиболее эффективно выращивать бройлеров современных кроссов, полученных от родительского стада кур 32-недельного возраста.

Ключевые слова: *бройлеры, возраст кур родительского стада, микроклимат, циркуляция воздуха, продуктивность бройлеров.*

Ранее установлено, что с целью оптимизации микроклимата в промышленных птичниках для выращиваний бройлеров на глубокой подстилке необходима дополнительная циркуляция воздуха [1]. Ее можно обеспечить за счет применения циркуляционных вентиляторов. В современном промышленном птицеводстве по-прежнему остается актуальной проблема неоднородности цыплят, получаемых от разновозрастных кур родительского стада [2, 3]. Это связано с тем, что на разных этапах содержания взрослых птиц у них отличаются живая масса и масса инкубационных яиц [4]. Также известно о различных адаптационных способностях цыплят, полученных от кур родительского стада на разных сроках их эксплуатации [5, 6].

Материалы и методы исследований. Эксперимент проводили на птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Респ. Татарстан) в производственных помещениях для выращивания бройлеров кросса «Росс-308» до 38-суточного возраста. Для опыта сформировали 3 группы суточных цыплят и разместили их в трех разных производственных корпусах, каждый размером 12×96×4 м, с напольной системой содержания. Поголовье в каждом птичнике (в группе) составляло в среднем 22 тыс. гол., из которых методом случайной выборки отбирали по 75 цыплят без разделения по полу для индивидуального учета их живой массы. Птицу выращивали с плотностью посадки 19 гол./м^2 производственной площади. Кормление было 5-фазовым с фронтом кормления 2,5 см/гол., поение — ниппельным с нагрузкой 10 гол./ниппель. Группы различались между собой возрастом птицы родительского стада (РС) от которого были получены бройлеры: в группе 1 — от 25-недельных кур РС, в группе 2 — от 32-недельных, в группе 3 — от 50-недельных.

Воздухообмен в птичниках обеспечивала приточно-вытяжная вентиляция, работающая по принципу отрицательного давления. В каждом помещении для выращивания бройлеров с целью обеспечения дополнительной циркуляции воздуха были установлены 3 вентилятора производительностью 8,5 тыс. м^3/ч каждый (суммарная производительность 25,5 тыс. м^3/ч).

Результаты исследований и их обсуждение. Средние значения параметров микроклимата в помещениях с дополнительной циркуляцией воздуха, полученные в предубойный период (35–38 сут.) выращивания бройлеров, представлены в *таблице 1*.

Таблица 1

Результаты выращивания бройлеров

Показатель	Группа			Нормативное значение
	1	2	3	
Возраст родительского стада, нед.	25	32	50	–
Температура воздуха, ºС	22,7	22,7	22,5	20,0
Температура поверхности пола, ºС	23,7	24,6	24,1	–
Относительная влажность воздуха, %	53,5	50,6	51,2	50,0
Скорость движения воздуха, м/с	0,13	0,13	0,15	<2,0
Интенсивность воздухообмена, м^3/ч/кг	1,61	1,61	1,63	1,67
Содержание CO_2, ppm	3 184	3 284	3 201	<3 000
ИРМ, единиц	5,6	5,7	6,0	–
ИПБ, единиц	405	422	419	–

Полученные в эксперименте данные отражают реальную климатическую картину в птичниках и имеют соответствующий градиент с нормативными требованиями: для температуры воздуха — в среднем 2,6ºС; относительной влажности воздуха — 1,8%; интенсивности воздухообмена — 0,06 м^3/ч/кг; содержания углекислого газа в воздушной среде — 223 ppm. Итоговый комплексный показатель эффективности выращивания цыплят — индекс продуктивности бройлеров (ИПБ) в группе 2 составил 422 ед., что на 4,2 и 0,7% выше, чем в группах 1 и 3 соответственно.

Для оценки распределения воздушных потоков в производственном корпусе применяли индекс равномерности микроклимата (ИРМ), предложенный нами ранее и рассчитываемый по концентрации углекислого газа в разных зонах птичника по формуле [6]:

$$ИРМ = \frac{\overline{X}}{\sum \pm \Delta \overline{X}}$$

где $\overline{X}$ — среднее арифметическое значение измерений концентрации углекислого газа, ppm;

$\sum \pm \Delta \overline{X}$ — сумма отклонений от среднего арифметического значения измерений концентрации углекислого газа, ppm.

Судить о равномерности микроклимата в помещении можно по разработанной авторами шкале оценки ИРМ (*табл. 2*). В изучаемых группах этот показатель находился в диапазоне от 6,0 до 5,6 ед., что соответствует оценке «микроклимат равномерный» и требует дополнительного контроля за продолжительностью работы газогенераторов открытого горения, подсоединенных к циркуляционным вентиляторам.

Таблица 2

Шкала оценки ИРМ в птичниках площадью 1152 м^2

Доля отклонений от среднего значения измерений по формуле расчета ИРМ, %	**ИРМ, ед.**	**Оценка**	**Рекомендации производству**
≤12,5	≥8,0	Микроклимат оптимальный	–
12,6–20,0	7,9–5,0	Микроклимат равномерный	Контроль за временем работы газогенераторов, подсоединенных к циркуляционным вентиляторам
20,1–30,0	4,9–3,3	Микроклимат недостаточно равномерный	Регулировка цикла работы системы вентиляции
30,1–40,0	3,2–2,5	Микроклимат неравномерный	Установка дополнительно 3 циркуляционных вентиляторов, каждый производительностью 8,5 тыс. м^3/ч
40,1–50,0	2,4–2,0	Микроклимат значимо неравномерный	Увеличение количества циркуляционных вентиляторов от 4 до 6, каждый производительностью 8,5 тыс. м^3/ч
>50,0	<2,0	Микроклимат критически неравномерный	Необходимы конструктивные и технические изменения в приточно-вытяжной вентиляции и системе отопления

Заключение. В статье представлены экспериментальные данные о параметрах микроклимата в промышленных птичниках в предубойный период (с 35-х до 38-х сут.) выращивания цыплят на глубокой подстилке. В условиях микроклимата, оптимизированного за счет обеспечения дополнительной циркуляции воздуха в помещении, наиболее эффективно выращивать бройлеров современных кроссов, полученных от родительского стада кур 32-недельного возраста. Суммарная производительность циркуляционных вентиляторов в птичнике площадью 1152 м^2 должна составлять не менее 25,5 тыс. м^3/ч. Данная рекомендация обусловлена зоотехнической и экономической эффективностью выращивания бройлеров в указанных условиях.

Библиографический список
1. Малородов В.В. Микроклиматическая зональность в производстве мяса бройлеров // Аграрная наука в инновационном развитии АПК: сб. мат. междунар. молодежного аграр. форума. Под ред. В.А. Бабушкина. Мичуринск, 8–10 ноября 2017 г. Мичуринский ГАУ, 2018. С. 164–168.
2. Османян А.К., Рыбаков Д., Галкин В. Влияние возраста кур родительского стада на результаты выращивания бройлеров // Гл. зоотехник. 2015. № 10. С. 11–16.
3. Interactions between broiler parent stock age and egg pre-incubation duration: effects on embryo development, hatchability, day-old chick weight, and yolk sac weight / M. Gregrova, M. Lichovnikova, M. Foltyn et al. // Animal. 2024. Sep. Vol. 18, iss. 11. Art. num. 101333.
4. Влияние возраста родительского стада и длительности хранения инкубационных яиц на качество суточных бройлеров и их продуктивность в процессе откорма / Л.В. Хорошевская, И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина [и др.] // Птицеводство. 2023. № 2. С. 52–57.
5. Как добиться высокой однородности стада птицы? / А.Ш. Кавтарашвили, Е.Н. Новоторов, Д.В. Гладин, Т.Н. Колокольникова // Птицеводство. 2012. № 4. С. 2–7.
6. Османян А.К., Малородов В.В. К вопросу о критериях комплексной оценки эффективности производства мяса бройлеров // Птицеводство. 2022. № 1. С. 47–51.

УДК 58.033:697.92

НЕОБХОДИМОСТЬ КОНТРОЛЯ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОКЛИМАТА В ПТИЧНИКАХ ДЛЯ БРОЙЛЕРОВ

***Малородов Виктор Викторович**, к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Подтверждено наличие микроклиматической зональности в птичниках с клеточным способом выращивания бройлеров. Экспериментально установлено, что для увеличения эффективности производства мяса бройлеров необходимо контролировать равномерность микроклимата еженедельно, измеряя концентрацию углекислого газа, не менее, чем в трёх точках, соответственно диагонали птичника от нижнего яруса через средний ярус и к верхнему ярусу клеточных батарей двух крайних и среднего рядов. Дополнительный контроль среды обитания бройлеров при этом осуществлять с применением формулы расчёта индекса равномерности микроклимата по концентрации углекислого газа в воздухе птичника.*

***Ключевые слова:** бройлеры, микроклимат, индекс равномерности микроклимата, воздухообмен, концентрация углекислого газа в воздухе.*

Введение. Современное промышленное выращивание бройлеров связано с рядом рисков, снижающих продуктивность и жизнеспособность цыплят. Негативные последствия проявляются ввиду отклонений параметров микроклимата от нормативных, комфортных для жизнедеятельности сельскохозяйственной птицы. Несоответствие температурно-влажностного режима [1], превышение в воздухе отдельных зон птицеводческого помещения допустимой концентрации вредных газов [2, 3], неравномерная освещённость зон расположения цыплят [4], недостаточное охлаждение помещений при избыточной температуре [5], приводят к снижению эффективности производства мяса бройлеров. В последние годы разработано множество контроллеров микроклимата в птичниках с помощью которых осуществляется управление средой обитания птицы посредством комплекта приточно-вытяжного оборудования и дополнительных элементов жизнеобеспечения [6]. Тем не менее, исходя из промышленной производственной площади от 1 до 3 тыс. м^2, отведённой для выращивания бройлеров, встречается микроклиматическая зональность [7]. В связи с этим, предлагается усиленный контроль микроклимата по равномерности распределения воздушных потоков в птичниках.

Цель эксперимента – научно обосновать необходимость дополнительного контроля равномерности микроклимата в промышленных птичниках с клеточными батареями в холодный период года для повышения эффективности выращивания бройлеров.

Материал и методика исследований. Исследования выполнены на птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Республика Татарстан, г. Набережные Челны) в условиях континентального климата. Бройлеров кросса «Росс 308» выращивали в одном производственном помещении до 36-суточного возраста в двурядных трёхярусных этажерочных клеточных батареях AviMax transit 655 фирмы «Биг Дачмен» с плотностью посадки 35,5 гол. / м^2 площади пола клетки. Схема опыта представлена в таблице 1. Для опыта сформировали 3 группы по 70 суточных цыплят в каждой без разделения по полу и разместили их в птичнике размером 20х96х4 м. Кормление осуществляли 5-фазовое с фронтом кормления 2,5 см / гол.; поение ниппельное с нагрузкой 10 гол. / ниппель. Всего в помещении располагалось 6 рядов клеточных батарей. Опытные группы цыплят размещали в 1-й, 3-й и 6-й клеточных батареях в соответствии со схемой опыта.

Таблица 1

Схема опыта (точки измерения параметров микроклимата)

Расположение точек измерения	Группа		
	1	2	3
Часть помещения	Передняя торцевая	Центральная	Тыльная торцевая
Зона помещения	Левая	Средняя	Правая
Ряд клеточных батарей, слева-направо	1	3	6
Ярус клеточной батареи	1	2	3
Расстояние точек измерения от торцевых и боковых стен, м	$\frac{5}{3}$	$\frac{45}{10}$	$\frac{5}{3}$

Примечание: над чертой расстояние от торцевых стен, под чертой – от боковых стен.

Воздухообмен в птичнике обеспечивался приточно-вытяжной вентиляцией, работающей по принципу отрицательного давления. Для холодного периода года в настоящем исследовании, учитывая режим работы минимальной вентиляции.

Для контроля равномерности распределения воздушных потоков в птичнике применяли разработанный нами индекс равномерности микроклимата (ИРМ) по распределению концентрации углекислого газа в производственном помещении; рассчитывали по формуле:

$$ИРМ = \frac{\bar{X}}{\sum \pm \Delta \bar{X}};$$

где $\bar{X}$ — среднее арифметическое значение измерений содержания CO_2;

$\sum \pm \Delta \bar{X}$ — сумма положительных и отрицательных отклонений от среднего арифметического значения.

Результаты исследований. Основные сведения об эффективности выращивания бройлеров приведены в таблице 2. Средняя живая масса цыплят в группе 3 достоверно превышает предубойную живую массу бройлеров группы 1 на 58 г. Убойный выход мяса бройлеров различался между группами несущественно, в пределах 0,6%. В связи с микроклиматической зональностью в группах получено различное количество мяса бройлеров в живой массе. В группе 3 в расчёте на 1 м^2 производственной площади произведено мяса бройлеров в живой массе на 4,3 и 2,0 кг больше по сравнению с группами 1 и 2 соответственно. В целом, учитывая микроклиматическую зональность в птичнике,

возможно рассчитать, что в случае создания равномерного микроклимата на всей производственной площади, дополнительное производство мяса бройлеров составит 7,8 т при суммарной площади пола 1818 м^2. Сохранность поголовья бройлеров в группах отличается в пределах 2,8-1,4% с наивысшим значением в группе 3 – 95,7%. Расход корма на 1 кг прироста у цыплят всех групп практически не различается. Итоговый комплексный показатель зоотехнической эффективности выращивания цыплят — индекс продуктивности бройлеров (ИПБ) в группе 3 составил 415 единиц, что на 6,1 и 3,0% соответственно выше, чем в группах 1 и 2.

Таблица 2

Результаты выращивания бройлеров и расчёта ИРМ

Показатель	**Группа**		
	1	**2**	**3**
Среднее значение ИРМ, единиц	13,2		
Средняя предубойная живая масса цыплят, г	2379,0± 16,7 а	2413,0± 17,0 аб	2437,0± 15,5 б
Убойный выход, %	73,1	73,5	73,7
Производство мяса бройлеров в живой массе на 1 м^2 производственной площади, кг	77,3	79,6	81,6
Сохранность, %	92,9	94,3	95,7
Расход корма на 1 кг прироста, кг	1,57	1,57	1,56
ИПБ, единиц	391	403	415

Примечание: разность между средними значениями в группах (в пределах показателя), обозначенными разными буквами, достоверна при P≥0,95.

Судить об индексе равномерности микроклимата (табл. 2) возможно по разработанной и впервые применяемой шкале оценки индекса равномерности микроклимата (табл. 3). В результате расчёта установлено, что ИРМ за период выращивания цыплят в среднем составил 13,2 единицы и соответствует оценке «Микроклимат оптимальный» согласно шкале оценки.

Таблица 3

Шкала оценки индекса равномерности микроклимата (ИРМ) в птичниках

Сумма отклонений от среднего значения измерений по формуле расчёта ИРМ, %	**ИРМ, единиц**	**Оценка**	**Рекомендации производству**
≤ 12,5	≥ 8,0	Микроклимат оптимальный.	–
12,6 – 20,0	7,9 – 5,0	Микроклимат достаточно равномерный.	Контроль за временем работы газогенераторов, электрозапитанных с циркуляционными вентиляторами.
20,1 – 30,0	4,9 – 3,3	Микроклимат недостаточно равномерный.	Регулировка цикла работы системы вентиляции.
30,1 – 40,0	3,2 – 2,5	Микроклимат неравномерный.	Установка дополнительно 3-х циркуляционных вентиляторов, каждый производительностью 8,5 тыс. м^3/ч.

40,1 – 50,0	2,4 – 2,0	Микроклимат значимо неравномерный.	Увеличение количества циркуляционных вентиляторов от 4 до 6, каждый производительностью 8,5 тыс. $м^3$/ч.
> 50,0	< 2,0	Микроклимат критически неравномерный.	Необходимы конструктивные и технические изменения в приточно-вытяжной вентиляции и системе отопления.

Примечание: данные справедливы для любого диапазона значений по содержанию углекислого газа в воздухе птичника.

Заключение. Для получения дополнительной прибыли необходимо контролировать равномерность микроклимата еженедельно, измеряя концентрацию углекислого газа не менее, чем в трёх точках, соответственно диагонали птичника от нижнего яруса через средний ярус и к верхнему ярусу клеточных батарей двух крайних и среднего рядов. Дополнительный контроль среды обитания бройлеров при этом осуществлять с применением предложенной формулы расчёта индекса равномерности микроклимата по концентрации углекислого газа в воздухе птичника.

Библиографический список

1. Choi L.Y., Daniel K.F., Lee S.Y., Lee C.R., Park J.Y., Park J., Hong S.W. CFD Simulation of Dynamic Temperature Variations Induced by Tunnel Ventilation in a Broiler House // Animals (Basel). 2024 Oct 18;14(20):3019. DOI: 10.3390/ani14203019.

2. Calvet S. The influence of broiler activity, growth rate, and litter on carbon dioxide balances for the determination of ventilation flow rates in broiler production / S. Calvet, F. Estellés, M. Cambra-López et al. // Poultry Sci. — 2011. — Vol. 90, is. 11. — P. 2449–2458. DOI: 10.3382/ps.2011–01580.

3. Ezenwosu, C. Litter Treatment Using Zeolite as a Management Protocol to Enhance Broiler Performance and Control Ammonia Emission in Broiler Production in the Humid Tropics / C. Ezenwosu, V.C. Udeh, A.E. Onyimonyi // Asian Journal of Research and Review in Agriculture. – 2022. – P.58-72.

4. Кавтарашвили А.Ш., Гладин Д.В. Удаленный мониторинг и управление освещенностью в птицеводстве // Вестник аграрной науки. 2025. №1 (112). С. 3-10.

5. Park, J.; Choi L.-Y., Lee S.-Y., Daniel K.F., Lee C.-R., Park J.-Y., Hong S.-W. Evaluation of Performance on Cooling Pad System according to non-uniform saturation of in Broiler House. J. Korean Soc. Agric. Eng. 2024, 66, P. 37–46.

6. Буяров, В.С. Эффективность современных энергоресурсосберегающих технологий производства мяса бройлеров / В.С. Буяров, С.Ю. Головина, А.В. Буяров // Аграрный вестник Верхневолжья.-2019.-№2(27).-С.86-98.

7. Скляр А.В., Попов В.А. Особенности регулировки минимального уровня вентиляции в птичниках в холодный период года // Птицеводство. 2024. № 12. С. 61-65.

УДК: 58.033:697.92

ПРОДУКТИВНОСТЬ БРОЙЛЕРОВ В ПТИЧНИКАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОЗДУХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ НА ГЛУБОКОЙ ПОДСТИЛКЕ

***Малородов Виктор Викторович**, к.с.-х.н., доцент кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, malorodov@rgau-msha.ru*

***Аннотация.** Научно обосновано, что с обеспечением дополнительной циркуляции воздуха в птичниках, следует выращивать бройлеров современных кроссов до 30 суток с плотностью посадки 24,3 гол. / $м^2$ и с 31 суток до убоя с плотностью посадки 20,4 гол. / $м^2$,*

применяя поэтапный убой стада в 30 и 38 суток с целью увеличения производства мяса бройлеров. В условиях равномерного микроклимата улучшена эффективность выращивания бройлеров и валовое производство мяса в условиях двухэтапного убоя стада за технологический цикл увеличилось на 8,1 – 17,3 тонны.

Ключевые слова: *бройлеры, плотность посадки, микроклимат, циркуляция воздуха, экономическая эффективность.*

В выполненных нами ранее исследованиях установлено, что с целью оптимизации микроклимата в промышленных птичниках для выращивания бройлеров на глубокой подстилке, необходима дополнительная циркуляция воздуха [1]. Это достигается за счёт применения циркуляционных вентиляторов, установленных по определённой схеме и работающих совместном с газогенераторами открытого горения. В результате осуществляется перемешивание воздушных потоков внутри помещения, что обеспечивает увеличение интенсивности воздухообмена и повышает равномерность микроклимата. В современном промышленном птицеводстве актуальна проблема переуплотнения поголовья цыплят на ограниченной производственной площади. С целью увеличения валового производства мяса бройлеров за один технологический цикл производители осознанно увеличивают плотность посадки бройлеров выше нормативных значений. Однако, это приводит к ряду негативных последствий [2-5]. Одно из технологических решений, позволяющих выращивать бройлеров с повышенной плотностью посадки – поэтапный убой стада (двух- или трёхэтапный) [6, 7].

Материалы и методы. Эксперимент выполнен на птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Республика Татарстан, г. Набережные Челны) в условиях континентального климата в производственных помещениях для выращивания бройлеров кросса «Росс 308» до 38-суточного возраста на глубокой подстилке. Схема опыта представлена в табл. 1. Для опыта сформировали 3 группы суточных цыплят и разместили их в трёх различных производственных корпусах каждый размером 12х96х4 м с общей площадью пола 1152 м^2. В каждом птичнике (в группе) из всего поголовья методом случайной выборки отбирали по 90 цыплят без разделения по полу для индивидуального учёта их живой массы. Кормление осуществляли 5-фазовое с фронтом кормления 2,5 см / гол.; поение ниппельное с нагрузкой 10 гол. / ниппель. Цыплята всех групп получены от одновозрастной (35 нед.) птицы родительского стада. В группе 1 с плотностью посадки 24,3 гол. / м^2 в 30-суточном возрасте цыплят проводили убой части поголовья (3401 гол.) с целью освобождения производственной площади для бройлеров, которых выращивали до 38 суток с плотностью посадки 20,4 гол. / м^2.

Таблица 1

Схема опыта

Показатель	Группа		
	1	2	3
Плотность посадки, гол. / м^2	24,3	21,0	16,9
Поголовье цыплят на начало периода, гол.	2 8000	24 160	19 520
Поэтапный убой, гол.	3 401	-	-
Плотность посадки после поэтапного убоя в 30 суток и с учётом падежа, гол. / м^2	20,4	20,2	16,2
Поголовье цыплят на конец периода, гол.	23 472	23 309	18 677

Воздухообмен в птичниках обеспечивался приточно-вытяжной вентиляцией, работающей по принципу отрицательного давления. В каждом помещении для обеспечения дополнительной циркуляции воздуха были установлены три циркуляционных вентилятора производительностью 8,5 тыс м^3/ч каждый (суммарная циркуляция воздуха 25,5 тыс. м^3/ч) на одной высоте с газогенераторами, на расстоянии 10,8 м от выходных отверстий газогенераторов, под наклоном 5° вниз по направлению к птице. Включение и выключение обогрева и циркуляции воздуха в помещениях происходило одновременно. Циркуляционные

вентиляторы запускали с 3-суточного возраста бройлеров, исключая риски возникновения респираторных осложнений у цыплят, в то время, как обогрев включали с суточного возраста.

Для оценки равномерности перемещения воздушных потоков в производственных помещениях применяли ранее сформулированный нами индекс равномерности микроклимата (ИРМ), рассчитываемый на основании концентрации углекислого газа в воздухе птичника по формуле:

$$ИРМ = \frac{\overline{X}}{\sum \pm \Delta \overline{X}}$$

где $\overline{X}$ — среднее арифметическое значение измерений содержания CO_2;

$\sum \pm \Delta \overline{X}$ — сумма положительных и отрицательных отклонений от среднего арифметического значения.

Результаты и обсуждение. Основные сведения об эффективности выращивания бройлеров приведены в табл. 2. Средняя живая масса 38-суточных цыплят в группе 3 достоверно превышает предубойную живую массу бройлеров группы 1 и 2 на 62,9 и 105,5 г соответственно. Убойный выход бройлеров различался между группами несущественно, в пределах 0,5%. Несмотря на наибольшую среднюю живую массу цыплят в группе 3 с наименьшей плотностью посадки, мяса бройлеров в расчёте на 1м^2 производственной площади произведено меньше, чем в группе 2 на 7,0 кг и в группе 3 – на 14,9 кг. Как следствие, с учётом двухэтапного убоя стада, в группе 1 наивысший показатель валового производства мяса – 64,1 т, что на 8,1 и 17,3 т больше по сравнению с группами 2 и 3 соответственно. Показатели сохранности и расхода корма цыплят во всех группах имели близкие значения. Итоговый комплексный показатель зоотехнической эффективности выращивания цыплят — индекс продуктивности бройлеров (ИПБ) в группе 3 составил 407 единиц, что на 2,8 и 4,0% соответственно выше, чем в группах 1 и 2.

Таблица 2

Результаты выращивания бройлеров

Показатель	Группа		
	1	2	3
Средняя предубойная живая масса цыплят в 38-суточном возрасте, г	2445,1±18,6 а	2402,5±17,9 а	2508,0±17,4 б
Средняя предубойная живая масса цыплят в 30-суточном возрасте, г	1966,0±15,5	-	-
Убойный выход, %	74,0	73,8	74,3
Производство мяса на 1 м^2 производственной площади, кг	55,6	48,6	40,7
Валовое производство мяса, т, в том числе в первый этап убоя	64,1	56,0	46,8
	6,7	-	-
Сохранность, %	96,0	96,5	95,7
Расход корма на 1 кг прироста цыплят в 38-суточном возрасте, кг	1,56	1,56	1,55
Расход корма на 1 кг прироста цыплят в 30-суточном возрасте, кг	1,44	1,44	1,43
ИПБ, единиц	396	391	407
ИРМ, единиц	14,3	10,4	5,0

Примечание: разность между средними значениями в группах (в пределах показателя), обозначенными разными буквами, достоверна при P≥0,95.

Судить об индексе равномерности микроклимата (табл. 3) возможно по разработанной и впервые применяемой шкале оценки индекса равномерности микроклимата (табл. 3). В изучаемых группах ИРМ находится в диапазоне от 14,3 до 5,0 единиц, что согласно шкале, соответствует оценкам «Микроклимат оптимальный» для групп 1 и 2; «Микроклимат равномерный» для группы 3, при котором требуется дополнительный контроль за временем работы газогенераторов открытого горения, работающих одновременно с циркуляционными вентиляторами.

Таблица 3

Шкала оценки индекса равномерности микроклимата (ИРМ) в птичниках

Сумма отклонений от среднего значения измерений по формуле расчёта ИРМ, %	ИРМ, единиц	Оценка	Рекомендации производству
≤ 12,5	≥ 8,0	Микроклимат оптимальный.	–
12,6 – 20,0	7,9 – 5,0	Микроклимат равномерный.	Контроль за временем работы газогенераторов, электрозапитанных с циркуляционными вентиляторами.
20,1 – 30,0	4,9 – 3,3	Микроклимат недостаточно равномерный.	Регулировка цикла работы системы вентиляции.
30,1 – 40,0	3,2 – 2,5	Микроклимат неравномерный.	Установка дополнительно 3-х циркуляционных вентиляторов, каждый производительностью 8,5 тыс. $м^3$/ч.
40,1 – 50,0	2,4 – 2,0	Микроклимат значимо неравномерный.	Увеличение количества циркуляционных вентиляторов от 4 до 6, каждый производительностью 8,5 тыс. $м^3$/ч.
> 50,0	< 2,0	Микроклимат критически неравномерный.	Необходимы конструктивные и технические изменения в приточно-вытяжной вентиляции и системе отопления.

Примечание: Данные справедливы для любого диапазона значений по содержанию углекислого газа в воздухе птичника. Количество точек измерения параметров микроклимата может варьировать от 3 до 9.

Вывод. В условиях равномерного микроклимата за счёт обеспечения дополнительной циркуляции воздуха в птичниках, с целью увеличения производства мяса бройлеров в пределах одного технологического цикла, следует выращивать бройлеров современных кроссов с плотностью посадки начального поголовья 24,3 гол. / $м^2$, применяя двухэтапный убой стада. После первого этапа убоя в 30-суточном возрасте цыплят, плотность посадки с учётом падежа составляет 20,4 гол. / $м^2$. Суммарная производительность циркуляционных вентиляторов при этом должна составлять не менее 25,5 тыс. $м^3$/ч.

Библиографический список

1. Малородов В.В., Османян А.К. Эффективность применения циркуляционных вентиляторов в помещениях для выращивания бройлеров в тёплый период года // Зоотехния. 2021. № 8. С. 15-18. DOI: 10.25708/ZT.2021.83.77.004.

2. Sugiharto Sugiharto Dietary strategies to alleviate high-stocking-density-induced stress in broiler chickens - a comprehensive review // Archives Animal Breeding.-2022.-January 21;65(1):21-36. DOI: 10.5194/aab-65-21-2022.

3. Yaowen Li, Shuang Xing, Xuejie Wang, Xiumei Li, Minhong Zhang, Jinghai Feng Effects of Increasing Stocking Density on the Performance and Ileal Microbiota of Broilers // The Journal of Poultry Science. 2022.-July 25;59(3):291-296. DOI: 10.2141/jpsa.0210089.

4. Soren P., Su G., Kestins S.C. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens // Poultry Science.-2000.-V.79.-P.864-870. DOI: 10.1093/ps/79.6.864.

5. Thaxton J.P., Dozier W.A. 3rd, Branton S.L., Morgan G.W., Miles D.W., Roush W.B., Lott B.D., Vizzier-Thaxton Y. Stocking density and physiological adaptive responses of broilers // Poultry Science.-2006 May;85(5):819-24. DOI: 10.1093/ps/85.5.819.

6. Османян А.К., Хамитова В., Молчанов А.В. // Выращивание бройлеров с поэтапным убоем стада // Птица и птицепродукты. 2013. № 4. С. 46-48. EDN: QZRSAD.

7. Хамитова В.З., Герасимов А.А., Чередов И.В., Османян А.К. Напольное содержание бройлеров с поэтапным убоем стада // Птицеводство. 2012. № 12. С. 13-15. EDN: PXRIFV.

УДК 33.338.43

РОЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОВЦЕВОДСТВА

Садовникова Марина Алексеевна, *аспирант кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, marina.sadovnikova.02.08@gmail.com*

Аннотация: *В статье рассмотрены аспекты развития отрасли овцеводства в России и их влияние на обеспечение продовольственной безопасности страны. Проведен статистический анализ современного состояния отрасли, выявлены ключевые тенденции перехода от шерстного к мясному и молочному направлениям продуктивности. Раскрыта роль овцеводства в обеспечении социально-экономической стабильности в традиционных регионах разведения. Была подчеркнута значимость сохранения генофонда отечественных пород для укрепления генетической независимости и импортозамещения в агропромышленном комплексе.*

Ключевые слова: *баранина, ягнятина, потребление мяса, молочное овцеводство, пастбищное животноводство, импортозамещение, сельские территории, занятость населения, устойчивое развитие.*

Продовольственная безопасность определяется как многоуровневая система, обеспечивающая устойчивое удовлетворение пищевых и нутриентных потребностей населения за счет обеспечения достаточного уровня продовольственных ресурсов, их экономической и физической доступности для различных групп населения, а также соответствия этих продуктов установленным требованиям качества и санитарно-эпидемиологической безопасности. В данном контексте выделяются три кластера критериев — наличие, доступность и качество и безопасность, которые в совокупности определяют способность системы питания удовлетворять физиологические потребности населения на устойчивой основе.

Оценивая состояние отрасли животноводства за 4 года (рис. 1), можно отметить, что производство птицы возросло на 8%, говядина – на 1%. Наибольшая положительная динамика прослеживается в производстве свинины (+16%), однако на 7% снизилось производство баранины в динамике исследуемых лет. Тем не менее, сегодня спрос на мясо и мясные продукты является устойчивым и не будет демонстрировать признаков замедления в ближайшем будущем. Согласно прогнозу ФАО мировое потребление мяса птицы, свинины, говядины и баранины к 2033 г. вырастет на 16%, 8%, 11% и 16% соответственно [7].

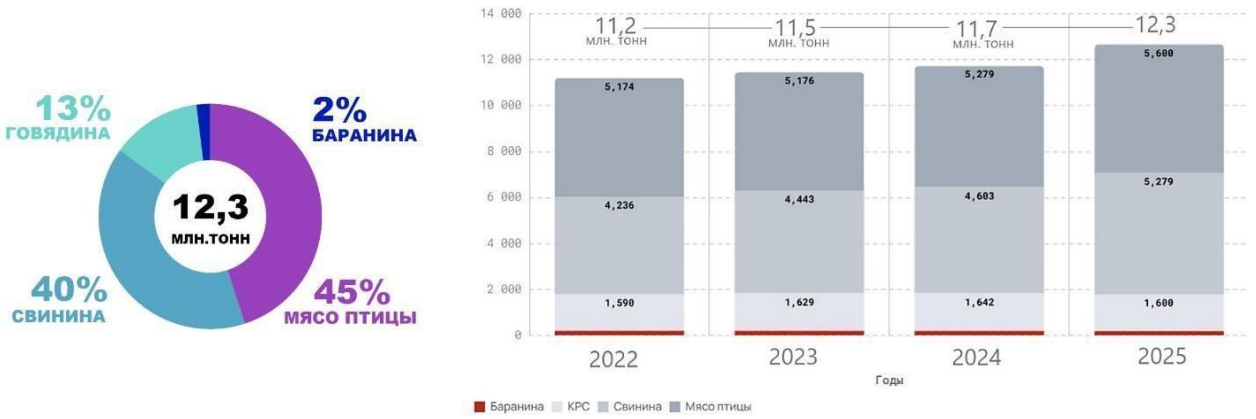


Рис. 1 Динамика производства скота и птицы в убойном весе с 2022 по 2025 гг.

В условиях непрерывного роста уровня импортозамещения необходимо обеспечивать население разнообразными продуктами питания с соблюдением требований диверсификации продукции согласно Указу Президента РФ от 10.03.2025 N 141 "О внесении изменений в Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации.

Сегодня глобальный рост уровня доходов побудил потребителей выбирать более качественные мясные продукты, а также обусловил спрос на премиальные и специальные товары, такие как органическое мясо и баранина [3]. Этические проблемы, связанные с благополучием животных и воздействием на окружающую среду, повлияли на предпочтения в отношении мясных продуктов. Таким образом, отрасль животноводства претерпевает ряд адаптивных изменений, связанных как с изменениями потребностей населения, так и с экономической ситуацией в стране в целом.

В первую очередь отрасль овцеводства снабжает жителей нашей страны мясом – источником высококачественного белка. Баранина и ягнятина являются экологически чистым продуктом, имеющим низкое содержание холестерина, высокое содержание железа и витаминов группы В. Баранина обладает полноценным аминокислотным составом с высокой степенью усвояемости белков, а соотношение незаменимых аминокислот соответствует эталонным требованиям ВОЗ для полноценного питания [7]. Ввиду преобладания пастбищного содержания, продукция овцеводства в меньшей степени подвержена накоплению антибиотиков и гормональных [4, 7].

Таким образом, баранину можно с уверенностью причислить к стратегически важным продуктам для обеспечения качественного питания и укрепления продовольственной безопасности. Кроме того, отсутствие религиозных запретов на потребление делает её универсальным продуктом для многонациональной страны. Тем не менее, на сегодняшний день потребление баранины в России отстает от норм потребления, утвержденных Минздравом России (рис. 2, таблица 1).

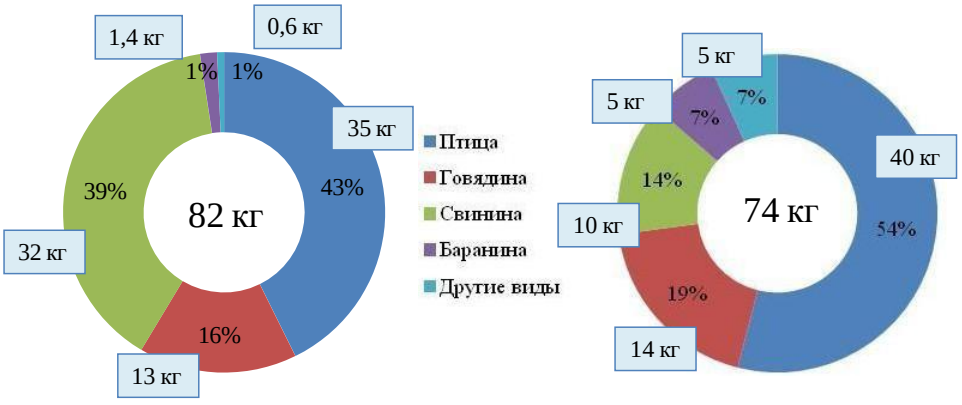


Рис. 2 Фактическое потребление мяса в России и норма на 2024 год

Значимой мировой тенденцией является динамичный рост производства овечьего молока – его производство за последние 50 лет увеличилось более чем вдвое. В России производство овечьего молока выросло по сравнению с 2024 г. почти в 6 раз до 183 т. (таблица 1), его доля в общем производстве молока сегодня около 4%. Текущие тенденции в отечественном овцеводстве характеризуются масштабированием практики получения товарного молока.

Таблица 1

Динамика производства и потребления баранины и молока овец, объем и темпы роста рынка шерсти в России

Мясная и молочная продуктивность								
Показатель	**Годы**							**2025в %к 1995**
	1995	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	
Поголовье овец, тыс.голов	201513	56101	16418	19676	22443	20863	19315	-90,4
Производствобаранины, тыс.т.	240,6	119,2	134,5	166,7	186,8	196,1	195,7	-18,7
Производствомолока овец, тыс. т.	0,30	0,40	0,81	0,94	14,54	4,98	1,83	+83,6
Потребление баранины и козлятины надушунаселения, кг/год	1,32	1,00	1,10	1,40	2,11	2,13	1,30	-1,5
Потреблениемолока овец надушу населения, кг в год	0,33	0,35	0,39	0,42	0,40	0,38	0,36	+8,3
Шерстная продуктивность								
Показатель	**Годы**							
	2015	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2022**	**2025**	
Производство всего, тонн	55426	56733	55471	50210	51659	46037	42386	
	18760	20925	19673	19187	19669	18243	18050	
ХФХ и ИП	9463	9028	9997	7570	9080	7442	6198	
С.-х. организации Хозяйства населения	27271	26779	25800	23452	22909	20351	19037	
Импорт, тыс.тонн	4,03	5,16	5,20	5,80	4,13	4,80	7,54	
Экспорт, тыс.тонн	8,80	7,41	6,71	4,22	3,03	2,45	4,90	
Средняя цена за 1 кг мытой шерсти, руб	280-320	350-400	300-400	300-400	180-240	260-320	300-350	

Источник: Росстат, ФТС России, ТАСС, аналитическиq отчет союза текстильщиков

Преимущества овечьего молока, связанные с его уникальным составом, открывают широкие перспективы для дальнейшего развития сегментов рынка, ориентированных на производство высококачественных молочных продуктов. Благодаря своей гипоаллергенности и высокой биологической ценности, овечье молоко становится перспективным сырьем для разработки инновационных продуктов детского питания, специализированных смесей для младенцев с аллергией на белок коровьего молока, а также функциональных продуктов.

В последние десятилетия шерстное овцеводство России находится в состоянии затяжного структурного кризиса, вызванного переориентацией рынка и экономическими факторами (таблица 1).

В большинстве фермерских хозяйств шерсть перестала быть основным источником дохода: зачастую затраты на стрижку и логистику превышают рыночную стоимость самого сырья. В свою очередь, диспаритет цен привел к тому, что реализация шерсти стала убыточной. Следующим фактором, тормозящим развитие шерстяного производства, является разрушение цепочек переработки: после распада СССР большинство предприятий легкой промышленности – суконные и камвольные комбинаты – закрылись, также отрасль замедляет острый дефицит мощностей по первичной мойке и очистке шерсти.

Из всей производимой в России шерсти только 1/2 представляет интерес для отечественной текстильной промышленности, при этом общее производство шерсти в 2025

году составило около 42 тыс. тонн. Средняя стоимость российской тонкой мытой шерсти в 3 раза меньше средней стоимости австралийской и новозеландской шерсти аналогичного качества [4].

Рынок шерсти в России после обвала в 2020 году, вызванного пандемией и закрытием границ с Китаем – основным покупателем российской шерсти (до 70 – 80% экспорта), а также после разрыва логистики со странами Европы в 2022, находился в экономической стагнации. В то же время рост цен в 2022 – 2025 гг. носит, скорее, инфляционный характер и не компенсирует падение реальной доходности отрасли.

Все это обосновало массовый переход хозяйств от шерстно-мясного направления к мясо-шерстному и чисто мясному и привело к стремительному сокращению доли мериносовых овец в общем поголовье [5].

Социально-экономическая значимость овцеводства заключается в его роли как источника занятости и средств к существованию для сельских сообществ, особенно в отдалённых и экологически ограниченных регионах. Овцеводство обеспечивает широкий спектр видов занятости: от традиционных форм пастбищного ведения до сопутствующих производственных функций.

Для малых народов и этнически обособленных групп овцеводство выступает не только экономической, но и культурно-социальной основой быта.

Не последнюю роль в обеспечении независимости страны от импорта племенного материала играет сохранение отечественного генофонда овец. Сегодня в овцеводстве всей страны проводится племенная работа, направленная на создание новых типов и пород, адаптированных к изменениям климата и интенсивным технологиям [1].

Российские породы овец формировались в специфических эколого-климатических условиях — от суровых высокогорий до засушливых степей и зон с экстремально низкими температурами; данные породы являются носителями ценных аллелей признаков, которые могут потребоваться при изменении рыночной конъюнктуры или климата. Следовательно, для инновационного развития зоотехнии и защиты внутреннего рынка от внешней генетической зависимости, необходима работа генофондных хозяйств. По данным ВНИИплем на 31 декабря 2024 года, в России насчитывалось 8 генофондных хозяйств в рамках племенной базы овцеводства, расположенных в 26 регионах страны [6].

Таким образом, овцеводство на сегодняшний день является одним из стратегических резервов нашей страны для обеспечения населения пищевой продукцией, сырьем для промышленности и источником занятости населения, сохранения многовековых традиций. Россия располагает большими возможностями как для роста численности овец, так и для увеличения мясной и молочной продукции отрасли. Овцы локальных пород отечественной селекции обладают генетическим потенциалом продуктивности и хорошей адаптацией к различным природно-климатическим условиям; есть производственный потенциал, специалисты и научные кадры, способные решать эти задачи.

Библиографический список

1. Абонеев, В. В. О проблемах сохранения племенных ресурсов овцеводства России / В. В. Абонеев, Ю. А. Колосов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 43-45. – EDNCEHMEY.

2. Ерохин, Е.И. Динамика производства молока овец и коз в мире и в России / А. И. Ерохин, Е. А. Карасев, А. С. Шувариков, С. А. Ерохин // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2015. – № 2. – С. 27-28. – EDN UCAJRL.

3. Жаров, А. Н. Продовольственная безопасность страны: современное состояние / А. Н. Жаров, В. Г. Плющиков // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 12(173). – С. 202-207. – DOI 10.34925/EIP.2024.173.12.033. – EDN VXJPZX

4. Орешникова, С.М. Экспертный анализ импорта и экспорта шерсти в российской Федерации / С. М. Орешникова, В. В. Зелятдинов, Н. А. Юхманова, В. П. Давыденкова // Проблемы и перспективы повышения эффективности племенного животноводства и кормопроизводства : Сборник

статей XII Международной научно-практической конференции, Тверь, 18–19 мая 2021 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2021. – С. 23-26. – EDN NDTYVI.

5. Свищева, М. И. Состояние государственной поддержки, производства и реализации шерсти / М. И. Свищева // Управление рисками в АПК. – 2017. – № 4. – С. 56-62. – DOI 10.53988/24136573-2017-04-05. – EDN SCCIGF.

6. Селионова, М. И. Сохранение и рациональное использование генетических ресурсов овец и коз / М. И. Селионова // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102, № 4. – С. 272-277. – DOI 10.33284/2658-3135-102-4-272. – EDN PDPZQV.

7. Юлдашбаев, Ю.А. Развитие овцеводства в России: история, тенденции и перспективы / Ю. А. Юлдашбаев, А. Г. Ибрагимов, М. А. Романюк [и др.] // Зоотехния. – 2024. – № 6. – С. 27-29.

УДК

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТИЛЯ ПРЫЖКОВ ЛОШАДЕЙ В КОНКУРЕ НА РАЗНЫХ ВИДАХ ПРЕПЯТСТВИЙ

Пруткова Полина Витальевна, *аспирант кафедры коневодства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, polina_prutkova@rgau-msha.ru*
Науменко Ирина Борисовна, *доцент кафедры коневодства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, naumenko@rgau-msha.ru*
Научный руководитель: ***Демин Владимир Александрович,*** *заведующий кафедрой коневодства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, v.demin@rgau-msha.ru*

Аннотация: В работе исследовано различие стиля прыжков лошадей на препятствиях разного вида в конкуре. С применением видеоанализа, корреляционного и дисперсионного методов изучены углы суставов передней и задней конечностей в четырех фазах прыжка. Установлены достоверные различия стиля прыжка при преодолении высотного и высотно-широтного препятствий.

Ключевые слова: конкур, стиль прыжка, корреляция

Конкур – олимпийская дисциплина конного спорта, главной задачей которой является преодоление препятствий. Маршрут в данной дисциплине состоит из набора разных препятствий (барьеров), которые подразделяются на следующие виды: высотные, как например, вертикаль, калитка, стенка; широтные, например, канава; высотно-широтные, например, брусья или тройник. Все виды препятствий, в виду своей конфигурации, преодолеваются по-разному, то есть с разным стилем [1, 2].

Целью данного исследования является определение различия стиля прыжка лошади на разных видах препятствий.

Материал и методика исследования. Предметом исследования стали 7 лошадей, выступавших в соревнованиях по конкуру на высоте препятствий 150 см. Методом видеофиксации в основном маршруте были засняты прыжки через высотно-широтное препятствие (брусья). В перепрыжке данный барьер переоборудовали в высотное препятствие (вертикаль) и также засняли прыжки через него. Следовательно, лошади, участвующие в данном исследовании преодолевали оба вида барьеров, и траектория движения лошадей на маршруте не менялась. Из видео стоп-кадром были взяты снимки четырех фаз прыжка (группировки, отталкивания, полета и приземления) и обработаны в специальной компьютерной программе по методике, описанной в статье [3-6]. В каждой фазе были измерены углы суставов передней и задней конечностей. На рисунке 1 наглядно представлены сходства и различия прыжков через брусья и вертикаль в разных фазах прыжка.



Рис. 1. Сравнительный анализ прыжков лошади через брусья и вертикаль

Результаты исследования. Был проведен корреляционный анализ углов суставов передней и задней конечностей, а именно плече-лопаточного, локтевого, запястного, тазобедренного, коленного и скакательного, в преодолении брусьев и вертикали в разных фазах прыжка. Результаты анализа отражены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа углов суставов конечностей на брусьях и вертикали в разных фазах прыжка

		Углы суставов конечностей	Брусья					
			Плече-лопато	Локтевой	Запястный	Тазобедренн	Коленный	Скакательный
Фаза группировки	Вертикаль	Плече-лопаточный	-0,11	-0,58	-0,23	-0,34	-0,47	0,30
		Локтевой	-0,32	0,23	0,65	0,02	-0,35	0,27
		Запястный	-0,57	0,03	**0,91*** **	-0,06	-0,52	-0,05
		Тазобедренный	**-0,82***	-0,58	0,62	-0,26	**-0,85****	-0,01
		Коленный	-0,04	-0,61	-0,52	-0,19	-0,13	0,09
		Скакательный	-0,40	-0,71	-0,24	0,17	-0,11	-0,22
Фаза отталкивания		Плече-лопаточный	0,33	-0,02	0,11	-0,39	-0,24	-0,34
		Локтевой	0,48	**0,76***	0,46	0,63	0,59	0,62
		Запястный	-0,51	-0,58	-0,39	0,18	-0,18	-0,32
		Тазобедренный	-0,16	0,26	0,39	**0,80***	0,51	0,54
		Коленный	0,33	0,39	0,10	**0,89****	0,70	0,39
		Скакательный	0,07	0,06	0,10	-0,67	-0,52	-0,13
Фаза полета		Плече-лопаточный	**0,87****	**-0,77***	0,44	-0,22	-0,12	-0,58
		Локтевой	-0,48	0,63	0,27	0,56	0,15	0,56
		Запястный	0,08	0,03	0,25	0,19	0,45	0,60
		Тазобедренный	-0,44	0,09	-0,31	0,41	0,49	0,16

		Коленный	0,05	0,36	-0,56	0,50	0,26	0,31
		Скакательный	0,24	0,24	-0,44	0,58	0,41	0,35
Фаза приземления		Плече-лопаточный	**-0,89****	-0,16	0,53	0,69	0,39	-0,14
		Локтевой	0,07	-0,54	0,36	0,13	0,39	0,42
		Запястный	-0,60	-0,11	**0,92*****	**0,996*****	0,58	-0,31
		Тазобедренный	0,52	0,22	**-0,77***	**-0,89****	-0,43	0,13
		Коленный	0,53	-0,03	-0,48	-0,69	-0,44	-0,20
		Скакательный	0,38	-0,61	0,05	-0,09	-0,14	-0,40

Примечание: достоверность *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001

В фазе группировки наблюдается сильная положительная связь между углами запястного сустава на брусьях и вертикали, которая составляет 0,91*** (***P<0,001). Это говорит о том, что чем больше угол запястного сустава на вертикали, тем больше будет этот же угол на брусьях. Также, сильная отрицательная корреляция присутствует между тазобедренном углом на высотном препятствии и плече-лопаточным (-0,82*) и коленным (-0,85**) на высотно-широтном.

В фазе отталкивания корреляционный анализ показал сильную связь с достоверностью P<0,05 локтевого (0,76*), а также тазобедренного (0,80*) суставов на брусьях и вертикали. При этом наблюдается сильная положительная корреляция тазобедренного угла на брусьях и коленного угла на вертикали (0,89**) с достоверностью **P<0,01. Это свидетельствует о том, что для высотно-широтного препятствия требуется траектория преодоления не только вверх, но и вперед, а следовательно, необходима более мощная сила отталкивания. Таким образом, например, чем больше будет угол раскрытия тазобедренного сустава на вертикали, тем больше будет тот же угол раскрытия на брусьях.

В фазе полета присутствует сильная положительная связь между плече-лопаточным углом на вертикали и плече-лопаточным углом на брусьях, которая составляет 0,87** (**P<0,01). Это объясняется тем, что при преодолении высотно-широтного препятствия лошадь в большей степени сгибает передние конечности, поэтому чем меньше угол плече-лопаточного сустава на вертикали, тем меньше будет этот же угол на брусьях. А также наблюдается сильная отрицательная корреляция между тем же углом на вертикали и локтевым углом на брусьях (-0,77*, при *P<0,05).

В фазе приземления анализ показал сильную отрицательную корреляцию (-0,89**, при **P<0,01) между плече-лопаточными углами при прыжках в рассматриваемых видах препятствий, так как для преодоления высотного препятствия при приземлении характерен более раскрытый угол, потому что дальность прыжка меньше. Сильную положительную связь имеют запястные суставы (0,92***, при ***P<0,001) при прыжках через вертикаль и брусья. Это свидетельствует о том, что чем больше рассматриваемый угол на высотном препятствии, тем больше он будет на высотно-широтном. Сильная отрицательная корреляция наблюдается между тазобедренными углами (-0,89**, при **P<0,01) при прыжках в рассматриваемых видах препятствий. Так как при преодолении высотно-широтного препятствия требуется большая дальность полета и приземления, чем при высотном, а следовательно, и больший угол раскрытия рассматриваемых углов.

Также был проведен однофакторный дисперсионный анализ. Рассматривалось различие в углах суставов передних и задних конечностей на разных видах препятствий в четырех фазах прыжка. Результаты данного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Различие в углах суставов передних и задних конечностей на разных видах препятствий в четырех фазах прыжка

Углы суставов конечностей	Фаза группировки	Фаза отталкивания	Фаза полета	Фаза приземления
Плече-лопаточный	-	-	-	-
Локтевой	-	-	-	-
Запястный	-	-	28,6%	-
Тазобедренный	-	-	-	-
Коленный	-	-	-	-
Скакательный	-	42,1%	28,7%	-

По результатам проведенного анализа различие по рассматриваемому фактору присутствует только в фазе отталкивания у скакательного сустава (42,1%) и в фазе полета у запястного (28,6%) и скакательного (28,7%) суставов.

В фазе отталкивания выявляется различие в угле скакательного сустава в зависимости от вида препятствия, так как при высотном препятствии в большей степени требуется прыжок вверх, а при высотно-широтном — вверх и вперед. Следовательно, при преодолении брусьев необходим более сильный толчок и наибольшее раскрытие скакательных суставов. Этим же обуславливается наличие различий по данному фактору для этого же угла в фазе полета.

Различие в работе запястного сустава в фазе полета при разных видах препятствий объясняется тем, что при прыжке через вертикаль данная фаза короче, чем при прыжке через брусья. Следовательно, лошадь, находясь в полете, уже начинает готовиться к приземлению и раскрывает запястный сустав. Тогда как при высотно-широтном препятствии полет длится дольше, и, находясь в наивысшей точке над препятствием, лошадь все еще удерживает передние конечности в максимально согнутом положении.

Таким образом, можно сделать вывод, что при прыжках через разные виды препятствий существует корреляция между отдельными углами суставов передней и задней конечностей в различных фазах прыжка. Также присутствуют различия, обусловленные видом препятствия, в углах запястного и скакательного суставов в фазах полета и приземления. Полученные результаты свидетельствуют о том, что различия в стиле прыжка при преодолении разных видов препятствий действительно существуют и проявляются в использовании различной техники. При этом при высотно-широтном препятствии более точно дифференцируются значения углов в разных фазах прыжка, что позволяет более детально и точно определить стиль и технику прыжка.

Библиографический список

1. Алексеева Е.И., Дорофеева А.В., Самандеева Е.Г. Анализ результатов тестирования спортивных качеств молодняка по результатам испытаний 2019 года // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. Вып. 4(61). С. 105-111.
2. Дорофеев В. Н. Модельные биомеханические характеристики прыжковых качеств лошади / В. Н. Дорофеев // Достижения физиологии и их применение в коневодстве: сборник науч. тр. ВНИИК, 1984. - С. 34-41.
3. Пруткова, П. В. Влияние биомеханики движения на стиль прыжка лошади / П. В. Пруткова, В. А. Демин // Коневодство и конный спорт. – 2024. – № 4. – С. 31-32. – DOI 10.25727/HS.2024.4.60752. – EDN GPINFJ.

4. Стили прыжков на примере лошадей голландской полукровной породы (KWPN) / П. В. Пруткова, В. А. Демин, И. Б. Науменко, И. Б. Цыганок // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 121. – С. 332-336. – DOI 10.21515/1999-1703-121-332-336. – EDN RAMTEC.
5. Vladimir A. Demin. Effects of limb joint angles and body part vs. ground angles on horses' jumping style / Vladimir A. Demin, Polina V. Prutkova, Inna B. Tsyganok // Caspian Journal of Environmental Sciences, Vol. 23 No. 3 pp. 731-739. DOI: 10.22124/cjes.2025.8950.
6. Rudmieze S. Horse and rider factors of performance in show - jumping discipline / S.Rudmieze, A. Fernate // SOCIETY.INTEGRATION. EDUCATION. - Proceedings of the International Scientific Conference. Volume II. - Latvia: Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2023. - P. 656-669.

УДК 631.147

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО КОНЕВОДСТВА

***Сергеенкова Надежда Алексеевна**, к.б.н., доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*
***Олесюк Анна Петровна**, к.б.н., доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

***Аннотация.** В статье рассматриваются ключевые особенности организации органического коневодства как перспективного направления устойчивого развития агропромышленного комплекса, включая нормативно-правовые требования, технологии ротационного выпаса и систему кормления без применения синтетических препаратов и ГМО. Проанализированы региональные модели производства на примере Республики Башкортостан и Республики Саха (Якутия). Органическое коневодство представляет собой сбалансированную эколого-экономическую систему, способную обеспечить производство высококачественной функциональной продукции при сохранении биоразнообразия и традиционного уклада сельских территорий.*

***Ключевые слова:** органическое производство, принцип экологии, коневодство, стандарты органик, биопродукция.*

В современных условиях интенсивные промышленные технологии в животноводстве всё чаще подвергаются критике за негативное влияние на здоровье животных, качество продукции и окружающую среду, органическое коневодство становится стратегическим направлением развития агропромышленного комплекса. Данная система предполагает получение продукции в условиях, максимально приближенных к естественным, с полным отказом от синтетических стимуляторов роста и профилактического применения антибиотиков. Фундаментом органического коневодства выступает целостное управление агроэкосистемой, которое включает сохранение биоразнообразия и гуманное отношение к животным. Законодательная база в России постепенно адаптируется под эти требования: после принятия Федерального Закона «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» № 280-ФЗ от 03.08.2018 г. и национального стандарта ГОСТ Р 56508-2015 «Продукция органического производства. Правила производства, хранения, транспортирования» сертификация и внесение в Государственный реестр производителей стали обязательными условиями для получения государственной поддержки, страхования и доступа к премиальным рынкам [1,3,6]. Переходный период, включающий сертификацию пастбищных угодий и строгий биоконтроль кормов, требует от хозяйств тщательного планирования и документального сопровождения. Именно эти меры гарантируют экологическую чистоту конечного продукта и формируют доверие потребителя.

Цель исследований: изучить принципы и особенности ведения органического коневодства в России.

Технология органического коневодства строится на принципах свободного выпаса и ротационного использования пастбищ. Лошади содержатся без скученности, в просторных загонах или табунах, что обеспечивает постоянную физическую активность, естественные социальные взаимодействия и формирование природного иммунитета. Рекомендуемая нагрузка составляет от 1,5 до 2 гектаров на одну голову при поддержании высоты травостоя на уровне 4-7 сантиметров, что позволяет равномерно распределять навоз, восстанавливать растительный покров и разрывать циклы развития эндопаразитов без применения химических антигельминтиков (таблица 1).

Кормовая база опирается преимущественно на местные ресурсы: качественное сено, луговую траву, концентраты в виде овса и ячменя, а также белковые добавки из люцерны или соевого шрота. При этом запрещены любые синтетические кормовые добавки, аминокислоты искусственного происхождения и костная мука, а минерально-витаминные премиксы подбираются индивидуально с учётом физиологических особенностей животных. Критически важным элементом остаётся водоснабжение: вода для поения должна соответствовать питьевым стандартам для людей, поскольку её качество напрямую влияет на усвояемость кормов и метаболические процессы [4]. Влажность естественных кормов варьируется от 12 до 14 % в зерне и сене до 80–90 % в свежей траве и корнеплодах, что требует точного расчёта рационов по энергетическим кормовым единицам, протеину и микроэлементам. Данные нормативные и технологические параметры формируют строгую систему допусков и ограничений, которая отличает органическое производство от традиционного.

Таблица 1

Особенности ведения органического коневодства

Аспекты	Требования	Ограничения
Содержание и выпас	Ротационное использование пастбищ (1,5–2 га на голову), поддержание травостоя 4–7 см, круглогодичный доступ к открытым пространствам, минимальная скученность	Скученное содержание, привязное стойловое содержание без выгула, нарушение норм плотности поголовья
Кормление и водоснабжение	Преобладание местных биокормов, индивидуальный подбор минерально-витаминных добавок, вода питьевого качества, контроль влажности рациона	Использование ГМО, синтетических стимуляторов роста, костной муки, искусственных консервантов и ароматизаторов
Ветеринария и здоровье	Профилактика через сбалансированный рацион и моцион, фитотерапия и гомеопатия (с интервалом ≥4 часов), строгие сроки вывода лекарств	Профилактическое применение антибиотиков и кокцидиостатиков, химико-синтетические препараты без клинических показаний
Сертификация и учёт	Переходный период с мониторингом пастбищ, обязательный биоконтроль кормов, ведение документации, регистрация в Госреестре	Смешивание органических и неорганических стад без чёткого разделения, отсутствие прослеживаемости продукции

Генетическая и селекционная политика в органическом коневодстве делает акцент на сохранении аборигенных и локальных пород, адаптированных к экстремальным условиям без зависимости от импортного племенного материала. В России особое значение имеют якутская,

мегежекская и приленская породы, сформировавшиеся в суровом климате и способные к круглогодичному тебенёвочному содержанию. Современные исследования с применением SNP-чипов и ДНК-анализа позволяют контролировать уровень инбридинга, оценивать генетическое разнообразие и выстраивать программы селекции, направленные на повышение жизнеспособности, а не только на экстерьер или показатели скорости.

Здоровье животных поддерживается в первую очередь профилактическими мерами: сбалансированным питанием, постоянным моционом и соблюдением естественных биоритмов. При возникновении заболеваний приоритет отдаётся альтернативным методам, таким как фитотерапия и гомеопатия, которые должны применяться раздельно с интервалом не менее четырёх часов. Ветеринарные препараты используются исключительно по клиническим показаниям, с обязательным соблюдением регламентированных сроков выведения лекарственных веществ из организма перед реализацией продукции [5].

Экономические модели органического коневодства в России демонстрируют значительную региональную специфику, обусловленную природно-климатическими условиями и историческими традициями. В Республике Башкортостан, где сосредоточено около 10 % российского поголовья и производится более 45 % кумыса, преобладает продуктивная стадная модель. Анализ показывает, что содержание кобыл в организованных стадах обеспечивает рентабельность на уровне 41 %, тогда как чисто пастбищное содержание снижает этот показатель до 6,5 % из-за высокой зависимости от погодных факторов и необходимости больших земельных площадей. Семейные фермы с поголовьем от 10 до 50 кобыл демонстрируют устойчивый доход при условии кооперации и наличия достаточной кормовой базы. Совершенно другой подход в Республике Саха (Якутия), где развито вольно-косячное табунное содержание якутской лошади на обширных экологически чистых территориях [2]. Несмотря на изначально низкую рентабельность традиционных мелких хозяйств в пределах 3–4 %, переход 38–55 % поголовья на органические стандарты при государственной поддержке способен поднять рентабельность отрасли до 25,5 % (таблица 2). Конина и кумыс якутского производства позиционируются как функциональные и диетические продукты с высоким экспортным потенциалом, однако их развитие осложняется логистическими барьерами.

Таблица 2

Сравнение моделей органического коневодства

Показатель	**Республика Башкортостан**	**Республика Саха (Якутия)**
Содержание	Продуктивное стадное содержание, ориентация на кумыс и конину	Вольно-косячное табунное содержание, экстенсивное пастбищное хозяйство
Доля в отрасли РФ	Около 10% поголовья, > 45% производства кумыса	Около 13% поголовья РФ, 90,8% поголовья ДФО
Рентабельность (традиционная / органическая)	41,1% / 6,4%	3,4% / 25,4% при господдержке и сертификации
Ключевые преимущества	Развитая переработка, кооперация семейных ферм, высокий внутренний спрос	Уникальные аборигенные породы, экологически чистые территории, экспортный потенциал в АТР
Основные риски	Зависимость от рыночной конъюнктуры, необходимость > 80% мощностей для пастбищной модели	Климатические аномалии (лёд на пастбищах, пожары), логистика, стоимость сертификации

Экологический аспект органического коневодства заслуживает отдельного внимания, поскольку лошади как моногастричные животные выбрасывают в атмосферу всего от 0,1 до 0,3 кг метана в год, что на порядок ниже показателей крупного рогатого скота. Ротационный выпас, отказ от химических удобрений и использование навоза в качестве органического удобрения способствуют поглощению углерода ростениями, восстановлению структуры почв и поддержанию биоразнообразия агроландшафтов.

Цифровая трансформация отрасли, выраженная в развитии прецизионного животноводства, внедрении GPS-трекинга стад, мобильных приложений (например, HorseDay, BarnManager, EquineM) для учёта и систем искусственного интеллекта с целью мониторинга здоровья, открывает новые возможности для повышения эффективности и прозрачности производства.

Развитие органического коневодства требует синергии государственной политики, научного сопровождения и локальных технологий селекции. Там, где фермер управляет хозяйством на основе экологических принципов, а животные содержатся в гармонии с природой, формируется продукция, отвечающая самым строгим требованиям современного потребителя. Реализация этого потенциала способна не только обеспечить экономическую устойчивость сельских территорий, но и укрепить продовольственную безопасность страны, сохранив при этом уникальные культурные традиции и природный капитал для будущих поколений.

Библиографический список

1. ГОСТ 33980-2016 Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. – М.: Стандартинформ, 2020 – 59 с.

2. Егорова, И. К. Организационно-экономический механизм развития производства органической продукции подкомплекса табунного коневодства в Республике Саха (Якутия) в переходный период / И. К. Егорова // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 3(104). – С. 1289-1296.

3. Единый государственный реестр производителей органической продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://soz.bio/edinyy- gosudarstvennyy-reestr-proiz-3/

4. Морджера Э., Буллон К., Грасия К., Дюран М. Органическое сельское хозяйство и право / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, Рим. – 2015. – 237 с.

5. Олесюк, А.П. Особенности и перспективы развития органического сельского хозяйства в Российской Федерации / А.П. Олесюк, Н.А. Сергеенкова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 216-228.

6. Федеральный закон от 03.08.2018 N 280-ФЗ (ред. от 29.12.2022) "Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.zakonrf.info/doc-35382364/

УДК

АНАЛИЗ УГЛОВЫХ ПРОМЕРОВ ШЕТЛЕНДСКИХ И УЭЛЬСКИХ ПОНИ НА РЫСИ

Кононова Софья Алексеевна, *аспирант кафедры коневодства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, sofya.kononowa@yandex.ru*

Аннотация: *В ходе работы изучены угловые промеры шетлендских и уэльских пони в двух фазах рыси, проведён их сравнительный анализ. По результатам анализа выявлены сходства и различия в биомеханике движения рысью представителей изучаемых пород.*

Ключевые слова: *пони, биомеханика, рысь.*

Введение. В настоящее время в Росси активно развивается пони-спорт, что делает необходимым глубокое всестороннее изучение пони. Несомненно, особое внимание должно уделяться работоспособности животных, в частности их двигательным качествам. Целью данной работы является проведение анализа значений угловых промеров у пони шетлендской и уэльской породы в двух фазах рыси [1, 2].

Материал и методика. В исследовании принимали участие 16 пони (8 голов шетлендской породы и 8 голов уэльской породы). Видеосъёмка исходного материала происходила во время движения пони на свободе. Из видео с помощью стоп-кадра было выделено 2 фазы рыси, получившие условное обозначение «фаза 1» (идёт опора на внутреннюю переднюю и внешнюю заднюю ногу) и «фаза 2» (пони опирается на внешнюю переднюю и внутреннюю заднюю ногу). Цифровой материал был обработан общепринятыми статистическими методами в программе Microsoft Excel. Сравнение исследуемых групп животных, помимо прочего, проводилось методом определения достоверности разности между средними показателями суставных углов.

Результаты исследования. Анализ полученных нами в ходе исследования данных о биомеханике движения пони на рыси в фазе 1 представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ промеров суставных углов шетлендских и уэльских пони на рыси, фаза 1, градусы

Порода пони / Углы	Уэльские пони			Шетлендские пони		
	M	m	Cv, %	M	m	Cv, %
Голова-шея	80,9	1,7	5,6	84,1	1,2	4,0
Голова	64,1	2,9	11,9	67,1	3,4	14,4
Шея	34,6	2,5	19,2	28,5	3,8	38,0
Шея-лопатка	91,1	2,8	8,2	89,8	3,5	11,0
Плечо-лопатка	69,0	2,6	9,9	76,9	2,5	9,0
Лопатка	55,6	1,8	8,6	60,9	1,8	8,5
Локоть	89,0	3,5	10,5	86,9	5,1	16,6
Запястье	155,0	1,0	1,7	151,8	1,5	2,9
Переднее путо	120,6	2,0	4,3	124,5	3,3	7,4
Передняя бабка	41,1	2,0	13,1	48,1	2,7	15,8
Круп	16,0	1,6	26,5	24,8	1,7	19,6
Тазобедренный	54,9	2,8	13,4	60,0	3,0	14,4
Колено	56,1	3,0	14,2	54,5	2,8	14,5
Скакательный	75,9	4,4	15,3	75,1	4,0	14,9
Заднее путо	111,7	5,3	12,5	112,4	4,2	10,6

Из данных, отображённых в таблице 1, мы видим, что у уэльских и шетлендских пони средние значения угла скакательного (75,9 градусов и 75,1 градус соответственно) и заднего путового сустава (111,7 градусов и 112,4 градуса соответственно) отличаются недостоверно менее, чем на один градус.

Наименее однородны у представителей обеих исследуемых пород показатели угла наклона шеи (Cv – 19,2% у уэльских пони и 38,0% у шетлендских пони) и крупа (26,5% у уэльских пони и 19,6% у шетлендских пони) к горизонту, наиболее однородны – показатели угла запястного сустава (1,7% у уэльских пони и 2,9% у шетлендских пони). Также у пони уэльской породы наиболее однородны значения переднего путового сустава, а у пони шетлендской породы – значения угла между головой и шеей (4,3% и 4,0% соответственно).

При доверительной вероятности 0,95 у уэльских пони достоверно меньше значения угла плече-лопаточного сочленения по сравнению с показателями данного угла у шетлендских пони (69,0 градусов у уэльских пони и 76,9 градусов у шетлендских пони). При доверительной вероятности 0,99 у представителей уэльской породы пони достоверно меньше показатели угла наклона крупа к горизонту в сравнении с таковыми у представителей шетлендской породы пони (16,0 градусов и 24,8 градусов у уэльских и шетлендских пони соответственно).

Анализ полученных нами в ходе исследования данных о биомеханике движения пони на рыси в фазе 2 представлен в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ промеров суставных углов шетлендских и уэльских пони на рыси, фаза 2, градусы

Порода пони / Углы	Уэльские пони			Шетлендские пони		
	M	m	Cv, %	M	m	Cv, %
Голова-шея	80,9	0,8	2,5	82,9	1,8	6,2
Голова	63,9	3,6	14,8	65,6	3,2	13,9
Шея	34,3	3,4	26,6	31,9	4,3	38,1
Шея-лопатка	87,0	2,1	6,3	88,1	4,4	14,3
Плечо-лопатка	76,0	1,0	3,5	78,0	1,9	7,0
Лопатка	52,1	1,8	9,2	56,3	2,3	11,7
Локоть	49,6	1,2	6,1	53,8	4,0	20,9
Запястье	68,9	3,8	14,7	75,4	3,7	14,0
Переднее путо	157,9	3,8	6,4	159,8	3,5	6,3
Круп	17,0	1,6	24,5	23,9	2,4	28,2
Тазобедренный	58,1	3,2	14,7	62,6	1,4	6,4
Колено	82,3	3,0	9,7	83,5	2,4	8,0
Скакательный	112,3	2,4	5,6	112,8	2,8	7,0
Заднее путо	150,4	1,8	3,1	157,5	3,3	5,9
Задняя бабка	39,7	2,0	13,2	44,9	2,2	14,0

По данным, представленным в таблице 2, видно, что средние значения угла скакательного сустава у представителей обеих исследуемых пород отличаются недостоверно меньше, чем на один градус (112,3 градуса у уэльских пони и 112,8 градусов у шетлендских пони).

Наименее однородны у уэльских пони и шетлендских пони показатели угла наклона шеи (Cv – 26,6% у уэльских пони и 38,1% у шетлендских пони) и крупа (24,5% у уэльских пони и 28,2% у шетлендских пони) к горизонту, наиболее однородны – показатели угла между головой и шеей (2,5% у уэльских пони и 6,2% у шетлендских пони) и показатели угла заднего путового сустава (3,1% у уэльских пони и 5,9% у шетлендских пони).

При доверительной вероятности 0,95 достоверно меньше показатель угла наклона крупа к горизонту у уэльских пони по сравнению с шетлендскими (17,0 градусов и 23,9 градуса соответственно).

Выводы. У представителей обеих исследуемых пород в двух фазах рыси недостоверно отличаются менее, чем на 1 градус, значения угла скакательного сустава. Угол наклона крупа к горизонту в двух фазах рыси у пони шетлендской и уэльской пород отличается наибольшим разбросом значений, однако средние значения данного углового промера в обеих изученных нами фазах рыси достоверно меньше у уэльских пони по сравнению с шетлендскими.

Библиографический список

1. Стойлов, А. Ю. Биомеханика лошади в различных фазах движения / А. Ю. Стойлов, Ю. Д. Овчинников // Фундаментальные науки и современность. – 2019. – № 3(24). – С. 29-39.
2. Цыганок И.Б., Яценко Е.А., Характеристика экстерьера у лошадей тяжеловозных пород по величинам суставных углов / Цыганок И.Б., Яценко Е.А. // Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 291. Ч. V /М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2019. 383 с.

УДК 636.32

ЖИВАЯ МАССА И ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА ОВЦЕМАТОК ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ СКРЕЩИВАНИИ С БАРАНАМИ ПОРОДЫ ДОРПЕР

Демина Анастасия Алексеевна, *аспирант кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, anastasiademina6588@mail.ru*

Научный руководитель: ***Магомадов Тарам Амхатович,*** *д.с.-х..н., с.н.с., профессор кафедры частной зоотехнии ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, magomadov@rgau-msha.ru*

Аннотация. *В представленном материале описаны результаты научно-хозяйственного опыта по скрещиванию овцематок эдильбаевской породы с баранами породы дорпер, проведённого в 2025 году. Исследование охватывает три группы животных: чистопородные эдильбаевские овцы (контроль), помеси первого поколения (F1 — 50% эдильбаевская × 50% дорпер) и помеси второго поколения (F2 — 25% эдильбаевская × 75% дорпер).*

Ключевые слова: *порода, скрещивание, репродуктивность, рентабельность*

Введение. Овцеводство в России имеет большое народнохозяйственное значение, которое заключается в обеспечении населения продукцией, рациональном использовании земельных ресурсов, создании рабочих мест и поддержании экологического баланса. Высокие приспособительные характеристики овец к различным условиям разведения и содержания, а также усвояемости дешевых кормов обуславливает экономичность овцеводческой отрасли [1,2].

Мясное овцеводство в России — важная отрасль животноводства, направленная на производство баранины. Она включает разведение специализированных мясных пород овец, организацию кормления, содержания и сбыта продукции. Лидерами по поголовью и производству баранины остаются южные регионы: Дагестан, Калмыкия, Астраханская область, Ставропольский край, Волгоградская область и другие.

Для повышения эффективности мясного овцеводства важно совершенствовать технологии содержания, кормления, а также проводить научно-производственные работы по созданию новых пород и типов овец.

Скрещивание — один из ключевых методов повышения продуктивности овец. Оно позволяет быстро воздействовать на породу и её потомство в желательном направлении, создавать группы высокопродуктивных животных, сочетающих ценные особенности нескольких пород, что особенно важно в условиях экономической нестабильности.

В Волгоградской области имеется одна из наиболее крупных пород овец на территории России — эдильбаевская порода мясо-сального направления продуктивности. Эта порода овец широко распространена на территории Южного Федерального округа и хорошо адаптирована к данным природно-климатическим условиям, что вызывает необходимость изучения возможности увеличения производства получаемой от нее баранины [3, 4].

Одним из путей эффективного увеличения производства баранины является увеличение участия в технологии выращивания специализированных мясных пород, в том числе иностранной селекции, например, породы дорпер [5-7].

Скрещивание эдильбаевских овец с дорперами — это селекционная практика, направленная на повышение продуктивности овцеводства, в частности мясной продуктивности молодняка. Она позволяет комбинировать лучшие качества обеих пород и использовать эффект гетерозиса. Это представляет интерес с точки зрения повышения продуктивности овцеводства, улучшения мясных качеств потомства и адаптации к различным условиям содержания.

Оплодотворяемость овец и сохранность ягнят — ключевые показатели, определяющие экономическую эффективность овцеводства. Они напрямую влияют на выход продукции, рентабельность производства и общее состояние поголовья. Высокая оплодотворяемость позволяет увеличить выход ягнят на 100 овцематок, что положительносказывается на объёмах производства продукции, а падёж ягнят значительно сокращает производство продукции и снижает эффективность отрасли. Показатель многоплодности также имеет важное значение для экономической эффективности отрасли, продуктивности и конкурентоспособности овцеводческих хозяйств. В различных исследованиях отмечается, что овцематки с двойнями превосходили маток с одним ягнёнком по уровню рентабельности. Это связано с увеличением количества получаемой продукции при тех же затратах на содержание животных.

Цель исследований – сравнительный анализживой массы и воспроизводительных качеств маток, сохранности молодняка и среднесуточных приростов у чистопородных и помесных животных разной кровности.

Материалы и методы. Представленные материалы получены в ходе проведения опыта и анализа данных по скрещиванию овцематок эдильбаевской породы с баранами-производителями породы дорпер, получению помесного молодняка на базе личного подсобного хозяйства А.В. Мирошкина «Подворье» Михайловского района Волгоградской области.

Объектом исследования послужили три группы овец, сформированные по принципу аналогов:

- Группа I (Контрольная) — чистопородные животные эдильбаевской породы (100% крови эдильбаевской породы);

- Группа II (F1) — помесные животные первого поколения, полученные в результате скрещивания чистопородных эдильбаевских маток с баранами породы дорпер (50% крови эдильбаевской породы и 50% крови породы дорпер);

- Группа III (F2) — помесные животные второго поколения, полученные в результате скрещивания помесных маток F1 с баранами породы дорпер (25% крови эдильбаевской породы и 75% крови породы дорпер).

По данным зоотехнического учета установлено, что в каждой группе было случено по 18 маток. В ходе исследования учитывались оплодотворяемость, многоплодие, количество и пол родившихся ягнят, их живая масса при рождении, в 3, 5 и 8 месяцев, сохранность к отъёму, а также среднесуточные приросты за различные периоды выращивания. Для расчёта среднесуточного прироста использовались общепринятые методики.

Результаты исследований. Результаты исследований показывают повышение воспроизводительных качеств у помесей, а именно отмечается рост показателя многоплодия маток, а также оплодотворяемость и сохранность ягнят во всех группах были высокими (таблица 1).

Таблица 1

Результаты скрещивания овцематок эдильбаевской породы с баранами породы дорпер

Показатели	Эдильбаев-ская	Эдильбаев-ская Х дорпер	Эдильбаев-ская ¼ Х дорпер 3/4
Количество слученных маток, гол	18	18	18
Объягнилось маток, голов	18	18	17
Оплодотворяемость, %	100	100	94
Получено ягнят при рождении, гол	19	21	19
Многоплодие, %	105,5	116,6	111,8
Родилось, гол.;			
баранчиков	10	11	11
ярочек	9	10	8
Живая масса, кг; при рождении			
баранчиков	5,3	5,5	4,8
ярочек	4,2	4,3	4,0
Отбито ягнят, голов в 3 месяца	19	21	18
Сохранность ягнят к отъему, %	100	100	94,8
Живая масса при отъеме, кг; в 3мес возр			

баранчиков	38,0	42,6	38,6
ярочек	34,5	37,8	34,0
Среднесуточный прирост за подсосный период, г;			
баранчиков,г	363	410	375
ярочек	336	372	333
Живая масса в 5-мес, возрасте, кг;			
Баранчиков,	43,5	49,0	43,0
ярочек	40,0	45,0	40,0
Среднесуточный прирост за период от рождения до 5-мес, возраста, г/сут;			
баранчиков	254	290	255
ярочек	239	271	240
Живая масса в 8-мес.возрасте, кг			
баранчиков	55,0	60,0	54,0
ярочек	48,0	53,0	50,0
Среднесуточный прирост за период от рождения до 8-мес, возраста, г/сут;			
баранчиков	207	227	205
ярочек	183	203	192

Эффективность скрещивания оценивалась на основе воспроизводства и жизнеспособности потомства. Анализируя данные из таблицы, можно сказать следующее:

• Чистокровные овцы эдильбаевской породы и помеси первого поколения (F1) показали абсолютный уровень оплодотворяемости, равный 100%. В группе с 3/4 доли крови породы дорпер показатель оплодотворяемости составил 94%.

• Многоплодие в контрольной группе составило 105,5%, что характерно для эдильбаевской породы с преобладанием одиночных окотов. В группе F1 этот показатель достиг 116,6%, превысив контрольную группу на 10,5%. В группе F2 многоплодие составило 111,8%, что также выше, чем у животных в контрольной группе, но ниже значения F1. Таким образом, скрещивание с породой дорпер повышает плодовитость овцематок, причем наибольший эффект наблюдается в первом поколении.

• Помеси F1 и чистокровные животные имели 100%-ную сохранность к моменту отъема. В группе F2 сохранность составила 94,8%.

• Динамика живой массы: помеси F1 показали наибольшую интенсивность роста. К 8 месяцам баранчики F1 весили 60 кг (+9,1% к контролю), ярки — 53 кг (+10,4%). F2 по массе были близки к контролю.

• У животных группы F1 зафиксирован лучший среднесуточный прирост. В возрасте 3 месяцев: у F1 наблюдается выраженный скачок (410 г у баранчиков F1 против 363 г у контроля, 372 г у ярочек F1 против 336 г у контроля), что свидетельствует о проявлении гетерозиса у помесей первого поколения. F2 практически не выделяется на фоне контроля. В 5 месяцев преимущество F1 сохраняет лидерство (290 г у баранчиков группы F1 против 254 г у контроля, 271 г у ярочек F1 против 239 г у контроля), F2 на уровне контроля. К 8 месяцам преимущество животных группы F1 сохранилось: 227 г у баранчиков F1 против 207 г у контроля, у ярочек F1 203 г против 183 г у контроля. F2 у баранчиков уступает контролю, у ярок — незначительно превосходит.

Выводы. Таким образом, результаты исследований наглядно демонстрируют преимущество животных группы F1 по всем ключевым параметрам: оплодотворяемость, многоплодие, сохранность, живая масса, среднесуточный прирост. Животные группы F2 могут быть интересны для селекции по многоплодию. Однако, следует иметь ввиду, что повышение уровня многоплодия может снижать уровень сохранности молодняка, поэтому важна селекционная работа, направленная на повышение молочной продуктивности матерей и грамотное искусственное выкармливание ягнят из многоплодных помётов.

Библиографический список

1. Врублевская В. В., Мамаева А. И. Оценка состояния мясного рынка и воспроизводственного процесса в условиях обеспечения продовольственной безопасности. Статистика и экономика. 2022. Т. 19. №. 6. С. 21-27.
2. Григорян Л.Н, Хататаев С.А, Хмелевская Г.Н Современные тенденции развития российского овцеводства разного направления продуктивности //Зоотехния. 2019. С. 10-17.
3.Жумалдилаев Н. К. Создание высокопродуктивных линий животных в стаде овец эдильбаевской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 330-334.
4. Юлдашбаев Ю. и др. Влияние генотипа баранчиков на химический состав длиннейшей мышцы спины. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2023. № 3. С. 35-41.
5. Косилов В. и др. Морфологический состав туш молодняка овец казахской курдючной грубошерстной породы. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2023. № 3. С. 58-65.
6. Турдубаев Т., Назаркулов К., Абдурасулов А. Рост и развитие баранчиков полученных при скрещивании баранов мясного дорпера с овцематками отечественных пород. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2024. № 3 (8). С. 132-141.
7. Никонова Е. А. и др. Эффективность выращивания чистопородных и помесных баранчиков. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2023. № 4. С. 164-170.

УДК 636.3 (574.11)

РАЗВИТИЕ МЯСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОДНЯКА АНДИЙСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ОВЕЦ С ГРУБОЙ И ПОЛУГРУБОЙ ШЕРСТЬЮ

Абдуллабеков Рашид Абдуллабекович, *кандидат с.-х. наук, научный сотрудник ФГБОУ, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан «ФАНЦ РД», Республика Дагестан, г. Махачкала, rashid.abdullabekov@mail.*

Аннотация: *В статье приводится развитие мясных показателей молодняка андийской породы овец белой популяции с грубой и полугрубой шерстью. Выявлено, что мясные показатели (живая масса и среднесуточный прирост) опытной группы молодняка с полугрубым шерстным покровом в 4 и 12-ти месячном возрасте превышают контрольных сверстников.*

Ключевые слова: *андийская популяция, молодняк, живая масса, среднесуточные привесы, мясная продуктивность.*

На территории Республики Дагестан овцеводство исторически сложилось не только как ведущая отрасль сельского хозяйства, но и как самобытный образ жизни, тесно переплетенный с культурным наследием и являющийся жизненно важной сферой деятельности, в особенности для жителей высокогорных районов [1, 6].

Республика является одним из ведущих производителей шерсти, ежегодно выпуская более 14,5 тысяч тонн этой продукции, а также мяса в объеме 145 тысяч тонн в убойном весе. Значительную долю в мясном производстве занимает баранина, объемы которой превышают 30 тысяч тонн, что составляет от 20 до 25% от общего производства. Жители Республики Дагестан выделяются высоким уровнем потребления баранины – 11 килограммов на человека, что в семь раз больше, чем в среднем по России (1,5 кг). Успех дагестанской баранины был отмечен на федеральном уровне: в 2020 году она стала победителем конкурса «Вкусы России» в номинации «Нас выбирают». Помимо внутреннего потребления, республика ежегодно экспортирует баранину в такие страны, как Иран, Турция и другие.

В хозяйствах Российской Федерации на 01.01.2024 год разводят 800 тыс. грубошерстных овец, в том числе в Республике Дагестан 247,7 гол, из которых 103,5 тыс. лезгинской породы, 98,2 тыс. андийской и 41 тыс. тушинской [3].

Современные научные изыскания в сфере животноводства убедительно демонстрируют, что увеличение массы тела у овец коррелирует с повышением их мясной продуктивности [2, 7].

Для овец, относящихся к аборигенным породам, типична умеренная продуктивность. Например, представители андийской грубошерстной породы в большинстве своем демонстрируют невысокие показатели: средняя живая масса составляет 38-40 кг, а настриг шерсти варьируется в пределах 1,8-2,0 кг [4]. Кроме того, для этих животных характерна замедленная скорость достижения зрелости. В 1950 - х годах прошлого столетия в некоторых овцеводческих хозяйствах Гумбетовского района горцами было проведено скрещивание маток андийских грубошёрстных овец с баранами дагестанской горной породы для увеличения живой массы, и улучшения шерстного покрова, после чего первое поколение разводили «в себе». Работа по дальнейшему совершенствованию продуктивных качеств андийских овец после первого скрещивания не велась. С вязи с этим, необходимо возобновить селекционную работу, направленную на повышение продуктивных показателей андийской грубошерстной породы и созданию на их базе новую популяцию полугрубошерстного типа овец.

Цель исследования – изучить мясные показатели молодняка белой андийской популяции овец андийской породы с разным шерстным покровом.

Задачи исследования - изучить живую массу и среднесуточные привесы молодняка овец андийской популяции овец с грубым (контрольная группа) и полугрубым шерстным покровом (опытная группа) от рождения до 12 месячного возраста.

Материал и методика. В племенном хозяйстве ООО «УХО» (Гумбетовский район, Республика Дагестан), специализирующемся на разведении андийской породы овец (белая популяция), в 2024 -2025 гг. было проведено исследование молодняка от рождения до 12 месяцев. Объектом исследования являлся молодняк андийской породы, разделенный на две группы: контрольную (с грубой шерстью) и опытную (с полугрубой шерстью) по 35 голов. Исследуемый молодняк обоих групп взвешивали при рождении весной 2024 года, осенью при отбивке (4 мес.) и 2025 году в возрасте 12 мес. Животные исследуемых групп содержались в идентичных условиях кормления и содержания в высокогорной зоне альпийских пастбищ, где расположено хозяйство на высоте свыше 2000 м над уровнем моря.

По результатам взвешивания ягнят контрольных и опытных групп определяли среднесуточный прирост по общепринятой методике (Овсяников А.И. 1967).

Характеризуя стадо овец генофондного хозяйства ООО «УХО» следует отметить, что 80% (1200 маток) животных имеют полугрубый шерстный покров, которые соответствуют требованиям стандарта для полугрубошерстных овец [5], а оставшиеся 20% (300 маток) имеют типичный грубошерстный покров свойственный аборигенной андийской породе.

Цифровой материал обработали по общеизвестной методике. Биометрическую обработку полученных цифр провели с использованием программы MS Excel.

Результаты исследований. Результаты динамики живой массы молодняков овец андийской породы с разным шерстным покровом приведены в табл. 1.

Таблица

Мясные показатели молодняка андийской популяции овец с разным шерстным покровом

Возраст	Молодняк овец андийской породы			
	грубым шерстным покровом (контрольная группа)		полугрубым шерстным покровом (опытная группа)	
	баранчики	ярки	баранчики	ярки
n	35	35	35	35
Живая масса, кг				
При рождении	3,4±0,30	3,2±0,20	4,2±0,31	4,0±0,03
4 мес.	22,4±0,40	21,5±0,30	30,6±0,54**	28,1±0,30**
12 мес.	35,0±0,50	31,4±0,40	51,0±0,57*	40,0±0,38*
Среднесуточный прирост, г				
От рождения до 4 мес.	158,3±0,38	152,5±0,46	220±0,41	200,8±0,41
От 4 мес. до 12 мес.	52,5±0,39	41,3±0,22	85±0,42	49,6±0,52
От рождения до 12 мес.	86,6±0,38	77,2±4,41	128, 2±0,46*	98,6±0,68*

Примечание: * ($p<0.001$); **($p<0.01$)

Как видно из таблицы во все возрастные периоды молодняк с полугрубым шерстным покровом превосходят сверстников с грубым шерстным покровом. Так при рождении это превосходство составило по баранчикам - 23,5%, яркам - 25,0%; в 4 мес. соответственно 36,6 и 30,2% ($p<0.01$). Сохраняется преимущество по живой массе в пользу молодняка с полугрубым шерстным покровом и в возрасте 12 мес.: по баранчикам - 45,7 и яркам - 27,4% ($p<0.001$).

Следует подчеркнуть, что живая масса баранчиков и ярочек с полугрубым шерстным покровом в 4 и 12 месяцев находится в пределах требований для элитных и I классных животных согласно бонитировке для овец полугрубошерстных пород.

По среднесуточным привесам молодняк андийской породы с полугрубым шерстным покровом превосходят сверстников с грубым (типичным) шерстным покровом в возрасте 4 мес.: баранчики на 39,2%; ярки на 31,7%, а с 4 до 12 мес. соответственно на 61,9 и 20,1%. За весь период от рождения до 12 мес. среднесуточный привес опытных баранчиков превышает контрольных на 48 % ($p<0.001$), ярочек на 27,7% ($p<0.001$).

Следует подчеркнуть, что живая масса баранчиков и ярочек с полугрубым шерстным покровом в 4 и 12 месяцев находится в пределах требований для элитных и I классных животных согласно бонитировке для овец полугрубошерстных пород.

Заключение. Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод о превосходстве мясных характеристик молодняка андийской породы с полугрубой шерстью (опытная группа) над показателями контрольной группы, обладающей грубым шерстным покровом. Установлено, что мясная продуктивность молодняка опытной группы

соответствует нормам бонитировки, предъявляемым к элитным и первоклассным полугрубошерстным породам овец.

Библиографический список

1. Амерханов Х.А. Современные реалии Российского овцеводства // Сборник научных трудов: мат. межд. науч.-практ. конф. посвящённой 85 летию основания ВНИИОК / - Ставрополь: Изд-во ВНИИОК, 2017, Вып. 10. - Т.1. - С. 3-7.
2. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Юлдашбаев Ю. А. Генетические ресурсы овец в России и некоторых странах мира. - М.: РГАУ - МСХА, 2021. - 2021. - 149 с.
3. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации - 2024 г. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва - 2025. 311 с.
4. Мусалаев Х.Х., Абдуллабеков Р.А., Дмитрик И.И., Завгородняя Г.В., Павлова М.И. Качественная характеристика мяса овец андийской породы с полугрубой шерстью / Проблемы развития АПК региона. 2024. № 3 (59). С. 151-156.
5. Порядок и условие проведения бонитировки племенных овец полугрубошерстных пород. - Москва ФГБНУ «Росинформагротех» - 2015. - 18 с.
6. Садыков М.М. Современное состояние овцеводства в Дагестане / М. М. Садыков // «Наука, образование и инновация для АПК: состояние, проблемы и перспективы». Научно – практическая конференция. Майкоп - 2022. - С. 276-279.
7. Demirhan, S. A. Sheep farming business in Uşak city of Turkey: Economic structure, problems and solutions /Demirhan S. A. // Saudi Journal of Biological Sciences. - February 2019. - Volume 26. - Issue 2. - P. 352-356.

СЕКЦИЯ ВЕТЕРИНАРИЯ

УДК: 004.85:619:611.11:636.5:17.02

ЭТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ДАТАСЕТОВ ДЛЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ ГЕМАТОЛОГИИ (НА ПРИМЕРЕ КУР)

***Чисвина И.В.**, аспирант кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, irinkin16887@gmail.com*
***Лисовская Я.В**., аспирант кафедры ветеринарной медицины; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. vet@yana-lisovskaya.ru*
***Галыга С.Д.**, аспирант кафедры ветеринарной медицины; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Ya.sokrat@mail.ru*
Научный руководитель: *Акчурин С.В., профессор кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, sakchurin@rgau-msha.ru*

Аннотация. *Результативность и надёжность нейросетевых алгоритмов в ветеринарной гематологии обусловлены свойствами обучающих выборок, то есть находятся в прямой зависимости от характеристик, используемых датасетов. В данной работе обсуждаются этические и методические проблемы формирования совокупностей данных для тренировки нейросетей с целью распознавания лейкоцитов кур. Ключевое внимание уделено преаналитической стадии, унификации процедур забора крови и окрашивания мазков, условиям корректной разметки клеток исходя из таксономических особенностей птиц, а также вопросу несбалансированности классов. Представлены практические указания по уменьшению систематических погрешностей и гарантии репрезентативности данных.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, ветеринарная гематология, обучающий датасет, преаналитический этап, куры, лейкоциты, аннотация данных, этика.*

Keywords: *Artificial intelligence, veterinary hematology, training dataset, preanalytical phase, chickens, leukocytes, data annotation, ethics.*

Введение. Развитие методов глубокого обучения и компьютерного зрения в последние годы привело к активному внедрению технологий искусственного интеллекта в лабораторную диагностику. В гематологии автоматизированные системы на базе ИИ демонстрируют высокую точность при подсчете лейкоцитарной формулы, классификации клеток и выявлении патологических изменений [1]. Однако, как справедливо отмечают эксперты Международного совета по стандартизации в гематологии (ICSH), потенциал цифровых морфологических анализаторов может быть реализован в полной мере лишь при условии стандартизации преаналитических, аналитических и постаналитических параметров [2;4].

Особую актуальность проблема стандартизации приобретает в ветеринарной гематологии, где морфология клеток крови имеет выраженную видовую специфичность. К примеру, лейкоциты кур существенно отличаются от лейкоцитов млекопитающих, тем что среди них выделяют гетерофилы (функциональные аналоги нейтрофилов) с характерными палочковидными гранулами. Эозинофилы у кур, в отличие от гетерофилов, характеризуются округлыми, однородными гранулами, тогда как гранулы гетерофилов имеют веретенообразную форму и вариабельную электронную плотность. Также важно при формировании обучающих выборок учитывать особенности строения ядер тромбоцитов, вариабельность тинкториальных свойств при различных методах окраски [3].

Цель настоящей статьи — проанализировать этические и методологические аспекты создания датасетов для обучения нейросетей распознаванию клеток крови кур и предложить практические рекомендации по стандартизации этого процесса.

Помимо указанных аспектов, в статье проанализировано влияние межоператорской изменчивости на процесс аннотирования лейкоцитов — установлено, что неоднородность в уровне подготовки специалистов, выполняющих разметку, способна вызывать существенные расхождения в обучающих массивах и, соответственно, ослаблять обобщающий потенциал моделей. Дополнительно рассматривается вопрос переносимости обученных нейросетей между различными лабораторными условиями: различия в реактивах, аналитическом оборудовании и режимах хранения мазков порождают дополнительные систематические искажения, не фиксируемые на этапе исходного сбора данных. С целью снижения данных рисков предложены методы, опирающиеся на аугментацию данных, кросс-валидацию на гетерогенных выборках и применение референтных наборов изображений. Самостоятельное внимание уделено этическим ограничениям, касающимся использования биологического материала животных при отсутствии исчерпывающей сопроводительной документации, а также проблемам воспроизводимости результатов в открытых научных репозиториях. На перспективу авторами предлагается разработка отраслевого стандарта, регламентирующего сбор, аннотацию и валидацию гематологических датасетов для птиц, что обеспечит унификацию создания диагностических систем на основе ИИ в ветеринарной практике.

Материалы и методы. Настоящая работа представляет собой концептуально-методологический обзор. Для выявления актуальных требований к формированию обучающих выборок в ветеринарной гематологии проведён систематический анализ публикаций за 2010–2025 гг. в базах данных PubMed, Web of Science, Scopus и eLibrary.ru по ключевым запросам: "veterinary hematology AND machine learning", "avian blood cell morphology AND dataset", "preanalytical variables AND cytology", "AI data annotation ethics". Критериями включения были: рецензируемые оригинальные исследования, методические руководства международных ветеринарных и гематологических ассоциаций (ICSH, ASVCP, AVMA), а также работы по валидации цифровых морфологических анализаторов. Обобщённые данные структурированы по трём направлениям: преаналитический контроль, биоэтические требования и методология аннотации, с адаптацией специфики к видам отряда Galliformes.

Обсуждение и методологические принципы формирования датасетов.

1. Преаналитический этап – главный фактор качества данных.

Преаналитический этап традиционно рассматривается как основной источник ошибок в лабораторной диагностике [4; 5]. К числу наиболее значимых преаналитических факторов относят: способ и место забора крови, тип контейнера и антикоагулянта, временные интервалы между забором, приготовлением мазка и его фиксацией, условия транспортировки (температура, вибрация, освещение), а также квалификацию персонала, выполняющего забор и первичную обработку [7]. При формировании обучающих датасетов для ИИ значимость этого этапа возрастает многократно, поскольку известно, что модели глубокого обучения склонны к обучению на спурриозных корреляциях (spurious correlations — ложные статистические связи, не отражающие биологическую причинность), включая технические артефакты подготовки образцов. В ветеринарной гематологии это создаёт риск того, что вариации в технике забора крови, фиксации или окрашивания мазков будут интерпретированы алгоритмом как диагностически значимые признаки, что снижает генерализуемость модели на данных из других лабораторий.

Преаналитический этап в ветеринарной гематологии представляет собой регламентированную последовательность процедур, предшествующих микроскопическому или автоматизированному исследованию биоматериала, и включает подготовку животного, выбор метода забора крови и типа антикоагулянта, стандартизацию условий транспортировки и временных интервалов до обработки образца, унификацию техники приготовления мазков (угол нанесения, скорость формирования, толщина клеточного слоя), а также строгий контроль параметров цитохимического окрашивания (рецептура красителя, время экспозиции, pH среды).

1.1. Забор крови у кур должен осуществляться по стандартизированному протоколу, включающему выбор вены (предпочтительно подкрыльцовая вена, vena cutanea ulnaris superficialis), тип антикоагулянта (K_2 EDTA) и строгие временные интервалы между забором и приготовлением мазка (не более 15–30 мин). Использование гепарина не рекомендуется, поскольку он индуцирует агглютинацию лейкоцитов, вызывает вакуолизацию цитоплазмы и изменяет тинкториальные свойства клеток при окраске по Романовскому–Гимзе.

Критическое значение имеет время приготовления мазков: дегенеративные изменения клеток начинаются уже через 2–3 часа после забора крови, что приводит к появлению артефактов — вакуолизации цитоплазмы, пикнозу ядер, дегрануляции базофилов. Такие изменения не должны присутствовать в обучающей выборке, если только задача модели не включает распознавание дегенеративных форм как диагностического признака.

1.2. Стандартизация окрашивания. Метод окраски мазков оказывает определяющее влияние на внешний вид клеток и, следовательно, на результаты обучения нейросети. В мировой практике для гематологических исследований наиболее распространены метод окраски по Райту, по Гимзе и комбинированный метод Паппенгейма [2]. Однако, как подчеркивается в рекомендациях ICSH, отсутствие единых стандартов окрашивания, оптических увеличений, цветовых и дисплейных характеристик создает серьезные препятствия для сопоставимости результатов, полученных в разных лабораториях [2; 3].

Для формирования обучающего датасета принципиально важно использовать единый протокол окрашивания для всех образцов. Любые отклонения (вариации времени окраски, температуры красителя, pH буферных растворов) должны фиксироваться, а изображения с выраженными артефактами окраски — исключаться из выборки. Например, сдвиг pH буферного раствора в щелочную сторону (>7,2) или превышение температуры красителя более 24 °C вызывает избыточное базовое окрашивание цитоплазмы гетерофилов, визуально имитирующее токсическую грануляцию. В контексте машинного обучения такие систематические вариации формируют ложные цветовые паттерны, которые алгоритмы классификации интерпретируют как диагностические признаки воспаления, что подтверждается исследованиями по цифровой цитологии.

1.3. Цифровая микроскопия. Оцифровка мазков должна проводиться при равномерном освещении (достигаемом стандартной настройкой микроскопа по Кёлеру) и точной настройке цветов с помощью эталонных цветовых таблиц. Разрешение снимков должно позволять чётко различать мелкие детали клеток (гранулы, ядрышки, включения). При работе с масляным объективом ×100 это означает, что один пиксель изображения должен соответствовать участку размером не более 0,1 мкм [20]. Нарушение этих правил ведёт к изменению оттенков на снимках и потере мелких деталей текстуры, что резко снижает стабильность данных для компьютерного анализа и может заставить модели искусственного интеллекта делать систематически ошибочные выводы [19]. В частности, неравномерная подсветка более чем на 10% создаёт светлые и тёмные зоны, которые программы для выделения клеток ошибочно принимают за участки с разной концентрацией клеток. А неточная настройка цвета (с отклонением более 3 единиц ΔE по шкале CIELAB) искажает реальный оттенок гранул, из-за чего алгоритм может неверно определить тип лейкоцитов.

2. Этические аспекты работы с животными

Формирование репрезентативного датасета для задач машинного обучения в ветеринарной гематологии объективно требует включения биоматериала от животных с различными патологическими состояниями. В частности, для обучения алгоритмов распознавания анемии, лейкозов и воспалительных процессов необходимы мазки крови от кур с верифицированными клинико-лабораторными диагнозами. Данное обстоятельство накладывает на исследователей строгие этические обязательства, регламентируемые международными директивами и национальными нормативными актами в области гуманного обращения с лабораторными и сельскохозяйственными животными.

При планировании и проведении исследований целесообразно руководствоваться международным стандартом «трёх R» (Replacement, Reduction, Refinement), предложенным У. Расселом и Р. Берчем. Принцип замены (Replacement) предполагает максимально широкое использование архивных цитологических препаратов из ветеринарных диагностических лабораторий, а также применение вычислительных симуляций для предварительной отладки алгоритмов сегментации и классификации. Принцип сокращения (Reduction) требует проведения априорного расчёта статистической мощности выборки, что позволяет достичь достоверности результатов при минимально необходимом количестве животных. Например, для выявления значимых морфологических различий может быть достаточно ограниченной когорты мазков от здоровых и больных особей, дополненной многократной оцифровкой различных полей зрения одного качественного препарата без повторного забора крови. Принцип совершенствования (Refinement) направлен на минимизацию болевых ощущений и стресса: предпочтение отдаётся венепункции из поверхностной локтевой вены (vena cutanea ulnaris superficialis) перед более инвазивными методами, применяется мягкая фиксация, используются местные анестетики, а объём забираемой крови строго лимитируется (обычно не более 0,5–1 мл или ≤1 % от массы тела птицы).

Процедура получения разрешения на использование биоматериала в ветеринарной практике отличается от клинических исследований на людях. Вместо информированного согласия пациента требуется письменное разрешение владельца животного. В случае работы с поголовьем сельскохозяйственных предприятий обязательным является согласование протокола исследования с администрацией хозяйства и главной ветеринарной службой, подтверждающее соответствие манипуляций внутренним регламентам биоэтики и зоогигиены.

На всех этапах эксперимента должен осуществляться систематический ветеринарный контроль. Ежедневный клинический мониторинг включает оценку общей активности, аппетита, состояния оперения и дыхательной функции. При обнаружении признаков дистресса или ухудшения состояния, не обусловленных целями исследования, проводится немедленная ветеринарная интервенция, включающая симптоматическую терапию и коррекцию условий содержания. В случаях развития тяжёлых осложнений, несовместимых с дальнейшим участием в эксперименте или благополучием животного, применяется гуманная

эвтаназия в соответствии с рекомендациями международных ветеринарных ассоциаций. После выполнения манипуляций предусматривается период наблюдения (24–48 часов) для контроля целостности места венепункции и полного восстановления поведенческих реакций.

3. Методология формирования датасета

3.1. Репрезентативность и вариабельность. Формирование обучающей выборки должно обеспечивать максимальную репрезентативность, отражая всё морфологическое разнообразие клеток, встречающееся в клинической практике. Для достижения этой цели датасет необходимо комплектовать биоматериалом от птиц различных пород и возрастных групп, что обусловлено выраженной возрастной динамикой лейкоцитарного профиля у Gallus gallus domesticus. Обязательным условием является включение мазков от клинически здоровых особей для установления референсных морфометрических параметров, а также образцов от животных с подтверждёнными бактериальными, вирусными и паразитарными инвазиями. Особое внимание следует уделять птицам, находящимся в состоянии физиологического или теплового стресса, поскольку данные состояния индуцируют предсказуемые сдвиги в картине периферической крови. Инкорпорация патологических препаратов критически важна для обучения алгоритмов распознаванию реактивно изменённых клеточных элементов, таких как гетерофилы с токсической зернистостью, атипичные лимфоциты и плазматические клетки, что напрямую влияет на диагностическую точность моделей.

3.2. Проблема дисбаланса классов. При формировании биомедицинских датасетов закономерно возникает проблема дисбаланса классов, обусловленная естественным физиологическим распределением форменных элементов: в периферической крови кур доля лимфоцитов и гетерофилов существенно превышает содержание эозинофилов и, в особенности, базофилов. Игнорирование данного фактора на этапе обучения приводит к систематическому смещению модели в сторону доминирующих классов и снижению чувствительности при классификации редких популяций. Для минимизации данного эффекта применяются специализированные алгоритмические стратегии: взвешивание функции потерь с присвоением повышенных штрафов за ошибки идентификации малочисленных классов; контролируемая аугментация данных, обеспечивающая генерацию дополнительных вариаций изображений редких клеток без искажения их диагностических признаков; а также синтетическое расширение выборки методами oversampling для метаданных, а для графических данных — контролируемую аугментацию (геометрические, цветовые трансформации) и применение генеративных моделей (GAN, диффузионные сети).

3.3. Аннотация данных: роль эксперта. Качество разметки изображений является определяющим фактором эффективности машинного обучения. Аннотация должна выполняться исключительно квалифицированными специалистами — ветеринарными врачами-гематологами, имеющими подтверждённый клинический опыт работы не менее 3–5 лет. Сложные диагностические случаи, характеризующиеся атипичной морфологией или пограничными цитологическими признаками, подлежат обязательному выделению в отдельную категорию и коллегиальному обсуждению для достижения экспертного консенсуса. В соответствии с рекомендациями Международного совета по стандартизации в гематологии (ICSH), даже при внедрении наиболее совершенных алгоритмических систем «квалифицированный морфолог остаётся необходимым для переклассификации клеток и окончательной диагностической интерпретации мазка крови» [2]. Таким образом, системы искусственного интеллекта в ветеринарной лабораторной диагностике должны рассматриваться исключительно как инструменты поддержки принятия клинических решений, дополняющие, но не заменяющие экспертную оценку специалиста.

Ограничения и перспективы. Представленные рекомендации базируются на обобщении международных стандартов и требуют эмпирической верификации в условиях конкретных лабораторий. К ограничениям подхода относятся: зависимость качества датасета от парка цифровых сканеров и протоколов окрашивания, отсутствие единых регуляторных критериев валидации ИИ-моделей в ветеринарии, а также необходимость внешней проверки

на независимых выборках. Перспективные направления включают разработку открытых репозиториев гематологических изображений крови птиц, в частности крови кур, по принципам FAIR, создание эталонных бенчмарков для сравнения алгоритмов сегментации и интеграцию мультимодальных данных (цитология + биохимия + клинический анамнез) для повышения устойчивости моделей к преаналитическим вариациям.

Заключение. Формирование репрезентативных и валидированных обучающих выборок для задач ветеринарной гематологии представляет собой междисциплинарную методологическую задачу, требующую интеграции строго контролируемых преаналитических протоколов, неукоснительного соблюдения биоэтических норм и экспертной морфологической аннотации данных. Как продемонстрировано в настоящей работе, только системная минимизация преаналитических артефактов, алгоритмическая балансировка классовых распределений и привлечение сертифицированных специалистов к разметке изображений обеспечивают создание моделей искусственного интеллекта, демонстрирующих высокую диагностическую воспроизводимость, устойчивость к внешним валидационным наборам и клиническую применимость.

Вышеописанные методологические принципы и стандартизированные протоколы формирования датасетов обладают высокой трансферной ценностью. Они могут быть адаптированы для исследований в области гематологии иных видов сельскохозяйственных и экзотических животных, а также послужить основой для расширения практики цифровой ветеринарной патологии, лабораторной валидации и разработки регуляторных рекомендаций по использованию ИИ-систем в ветеринарной диагностике.

Библиографический список

1. Lippi G., Mattiuzzi C., Favaloro E.J. Artificial intelligence in the pre-analytical phase: State-of-the art and future perspectives // Journal of Medical Biochemistry. 2024. Vol. 43, № 1. P. 1–10.

2. Kratz A., Lee S.H., Zini G. et al. Digital morphology analyzers in hematology: ICSH review and recommendations // International Journal of Laboratory Hematology. 2019. Vol. 41, № 4. P. 437–447.

3. Петров А.В., Иванова Е.С., Сидоров Н.М. Гематология птиц: методы исследования и клиническая интерпретация. М.: Колос, 2023. 256 с. [на рус. яз.]

4. Plebani M., Scott S., Simundic A.M. et al. New insights in preanalytical quality // Clinical Chemistry and Laboratory Medicine. 2025. Vol. 63, № 9. P. 1682–1692.

5. Padoan A., Cadamuro J., Vermeersch P. et al. Digitalization and artificial intelligence in preanalytical phase // Clinical Chemistry and Laboratory Medicine. 2025. Vol. 63, № 9. P. 1693–1702.

6. Adeli K., Lippi G. The digital transformation of laboratory medicine: From instruments to intelligence // LabMed Discovery. 2025. Vol. 2, № 3. 100095.

7. Kani V, Kannan K, Arumugam S, Sonti S. Preanalytical Errors in Hematology: Insights From a Tertiary Care Hospital. Cureus. 2024 Sep 18;16(9):e69641. doi: 10.7759/cureus.69641. Erratum in: Cureus. 2025 Oct 2;17(10):c342. doi: 10.7759/cureus.c342. PMID: 39429359; PMCID: PMC11487617.

СЕКЦИЯ КОРМЛЕНИЕ

УДК 636.085.7:631.36

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ

Косолапова Елена Валентиновна, *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры Информационные системы и технологии ГБОУ ВО НГИЭУ,* K-art-inka@yandex.ru

Аннотация. В работе представлено обоснование введения термина «комбинирование консервирование» как управляемого технологического процесса, основанного на согласованном применении химических, биологических, ферментативных и физических методов в рамках единого технологического цикла заготовки растительной массы. На основе сравнительно-терминологического и системного анализа предложена авторская дефиниция, формализующая обязательные признаки процесса (синхронизация операций, техническая реализуемость, измеримые показатели биологической, питательной и микробиологической стабильности) и создающая методологическую базу для разработки и стандартизации технологических карт заготовки высококачественных кормов.

Ключевые слова: комбинированное консервирование, растительная масса, технология, процесс, корм, термин, технологическая карта.

Современное кормопроизводство характеризуется высокой вариабельностью физико-химических свойств зелёной растительной массы и ограниченной воспроизводимостью традиционных схем биоконсервирования, особенно при заготовке многолетних бобовых культур [1]. Действующая нормативно-техническая база свидетельствует о применении изолированных методов консервирования кормового материала, что не соответствует современной производственной практике, где стабильность параметров готового корма достигается за счет регламентированного сочетания нескольких технологических воздействий [2]. Отсутствие унифицированного термина создает терминологические противоречия и затрудняет формализацию технологических требований и их реализацию.

В контексте приоритетов научно-технологического развития АПК возникает объективная потребность в формировании однозначного понятийного аппарата, обеспечивающего переход от эмпирических приемов к воспроизводимым инженерно-технологическим подходам.

Цель исследования научно обосновать и терминологически закрепить введение термина «комбинированное консервирование» через разработку авторской дефиниции, раскрывающей инженерно-технологическую сущность процесса заготовки силоса.

На основании анализа терминологического аппарата, представленного в нормативных документах (ГОСТ 23153-78, ГОСТ 55986-2022) установили концептуальный разрыв между устаревшими дефинициями и современными технологическими схемами заготовки консервированных кормов. В области кормопроизводства применяется такой официально утвержденный термин как «консервирование кормов». Его понятие раскрывается в нормативном документе ГОСТ 23153-78 «Кормопроизводство. Термины и определения», которое означает «…процесс обработки кормов с помощью физических, химических или биологических методов с целью их сохранения при минимальных потерях питательных веществ». Из определения видно, что при консервировании кормов предполагается обработка одним из методов: физическим, либо химическим, либо биологическим. Поэтому в данном нормативном документе отдельно раскрыты соответствующие термины. «Химическое консервирование кормов – консервирование кормов с помощью химических препаратов с целью обеспечения их сохранности». «Заквашивание кормов – внесение в силосуемую массу специальных молочнокислых и других бактериальных заквасок, обеспечивающих консервирование корма». Как можно заметить, рассмотренные понятия не охватывают современных технологических подходов к консервированию кормов, основанных на их сочетании.

Для устранения данного семантического пробела применен метод терминологической стандартизации в соответствии с ГОСТ Р ИСО 704-2010, позволивший структурировать терминологическое поле, выделить родовое понятие и водообразующие признаки управляемого технологического цикла комбинированного консервирования растительной массы. На основе логико-аналитического синтеза и верификации инженерно-технологических параметров сформирована авторская дефиниция, которая смещает фокус с эмпирического

комбинирования приемов на проектирование воспроизводимого процесса с четкими критериями синхронизации технических операций и измеримыми показателями качества.

В предлагаемой дефиниции «комбинированное консервирование» - это управляемый технологический процесс сохранения зеленой растительной массы, основанный на согласованном и одновременном либо регламентировано-последовательном применении двух и более методов консервирования (химического, биологического, ферментативного и/или физического), реализуемый с использованием специальных технических средств, обеспечивающий биологическую, микробиологическую и питательную стабильность корма с целью минимизации потерь сухого вещества, повышения перевариваемости и качества готового корма.

Инженерно-технологическое содержание термина раскрывается через обязательные элементы процесса: управление содержанием сухого вещества на этапах провяливания (до 25-30 %), регулирование длины резки в зависимости от влажности сырья, синхронизированное дозирование консервирующих препаратов, создание анаэробных условий посредствам многослойной герметизации и контроль плотности укладки в динамики заполнения хранилища.

Технологическая управляемость процесса обеспечивается строгим контролем физических параметров, между которыми установлена жесткая инженерная взаимосвязь: снижение влажности растительной массы требует соответствующего уменьшения длинны резки и корректировки режимов уплотнения для достижения требуемой плотности массы (700-910 кг/м^3 в зависимости от исходной влажности).

Кроме того .реализация предлагаемой дефиниции строится на принципе синергетического взаимодействия совокупности методов, который подразумевает не механическое суммирование технологических приемов, а регламентированное согласование их параметров для достижения управляемого биохимического и микробиологического эффекта. На практике это выражается во взаимном усилении консервирующих воздействий. Например, при сочетании химического консерванта с биологической закваской, первый выступает в роли пускового ингибитора нежелательной микрофлоры, а молочнокислые бактерии, входящие во второй, катализируют целевое молочнокислое брожение. Результаты экспериментальных исследований подверждают эффективность данного подхода: комбинация органических кислот (препарат Текацид) с гомоферментативными молочнокислыми бактериями (препарат Биосил НН) при заготовке провяленной зеленой массы козлятника восточного позволяет сократить норму расхода химического консерванта на 70 % по сравнению с традиционной схемой, обеспечивая при этом сохранение высокого содержания перевариваемого протеина (91,5 г/кг СВ) и обменной энергии (10,1 МДж) [3, 5]. Как показывает анализ результатов, описываемый отечественными и зарубежными авторами, все варианты комбинирования в той или иной степени обладают более высоким консервирующим эффектом, чем спонтанное силосование. Практические исследования подтверждают, что применение кислородно-барьерных пленочных систем (например, Silostop) в сочетании с оптимальными схемами внесения химических консервантов и биологических инокулянтов позволяет быстро стабилизировать профиль брожения [4].

Указание в дефиниции на достижение «биологической, питательной и микробиологической стабильности» фиксирует требование к измеримости результата. Биологическая стабильность отражает быстрое прекращение аэробных процессов и самосогревания за счет контролируемой ферментации; питательная – сохранность сухого вещества, протеина и обменной энергии на всем этапе хранения; микробиологическая – устойчивое доминирование молочнокислого брожения и подавление дрожже-плесневелой микрофлоры даже при кратковременном контакте с кислородом [2, 4].

С инженерно-технологической позиции введение термина задает вектор для разработки специализированных технических средств. Реализация концепции требует синхронизации операций подготовки сырья, дозирования консервантов, герметизации хранилищ, что обуславливает необходимость оснащения агрегатов модулями точного внесения препаратов,

калиброванными под скорость подачи зеленой массы, а также применения многослойных кислородно-барьерных систем укрытия, предотвращающих аэробную порчу поверхностных слоев [4]. Совокупность указанных признаков формирует системный эффект, недостижимый при изолированном применении отдельных методов, и создает научную базу для стандартизации технологических карт, адаптации рабочих органов заготовительной техники и внедрения ресурсосберегающих режимов АПК.

Таким образом в результате работы обоснована объективная необходимость стандартизации понятия «комбинированное консервирование», устраняющего терминологические пробелы действующих нормативных документов и отражающих современные интегрированные схемы заготовки растительной массы. Разработанная авторская дефиниция формализует процесс как управляемую технологическую последовательность, основанную на регламентированном синергетическом взаимодействии методов различной природы с измеримыми показателями биологической, питательной и микробиологической стабильности. Внедрение термина в отраслевые регламенты создаст основу для разработки специализированных дозирующих модулей и адаптацию технологических карт.

Библиографический список

1. Muck R. E., Nadeau E. M. G., McAllister T. A., Contreras-Govea F. E., Santos M. C., Kung Jr. L. *Silage review: Recent advances and future uses of silage additives //* Journal of dairy science**.** 2018. Vol. 101(5). P. 3980–4000. DOI: 10.3168/jds.2017-13839

2. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R. J., Holmes B. J., Muck R. A. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages // Journal of dairy science. 2018 Vol. 101(5). P. 3952-3979. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837.

3. Косолапова Е. В. Кучин Н. Н., Косолапов В. В. Исследование влияния комбинированного консервирования на процессы брожения при силосовании провяленной зелёной массы козлятника // Вестник НГИЭИ. 2024. № 8 (159). С. 17-31.

4. Ламанов А. С. Silostop: революция в укрытии силосохранилищ // Животноводство России. 2016. № 7. С. 56-57. EDN WMYRYF.

5. Wang X., Li F., Cai X., Huang Y., Shi H. Exploring the combination of wilting and different types of additives to improve silage quality of highland alfalfa: Fermentation quality, nutritional values, molecular structural features, and ruminal degradability // Animal Feed Science and Technology. 2024. Vol. 318. Art. 116123. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116123

УДК 636.5:636.085:637.5

МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЕ ОМЕГА-3 ИСТОЧНИКОВ (РЫБИЙ ЖИР И ЛЁН) В КОРМЛЕНИИ КУР НЕСУШЕК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЯИЦ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПНЖК

Екатерина Викторовна Ткачева, *аспирант кафедры кормления ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ORCID: 0009-0006-9867-1188, morekone@yandex.ru*

Валентина Геннадьевна Косолапова, *д.с/х.н, доцент, профессор кафедры кормления животных ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», v.kosolapova@rgau-msha.ru*

Алешин Дмитрий Евгеньевич, *к. б. н., доцент кафедры кормления животных ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.aleshin@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Обогащение яиц омега-3 ПНЖК достигается введением в рацион яичных кур льняного сырья (ALA) и рыбьего жира (EPA, DHA). Практическое применение ограничено окислительной нестабильностью ПНЖК, вариабельностью качества сырья и риском*

постороннего привкуса. Микрокапсулирование рассматривается как способ повысить стабильность омега-3 масел, облегчить их внесение в комбикорм и снизить окисление. В обзоре представлены технологии микрокапсулирования рыбьего жира и льняного масла и критерии контроля качества. Обсуждены ограничения и перспективы внедрения в промышленном производстве омега-3 яиц.

Ключевые слова: *яичное направление продуктивности, омега-3, ПНЖК, рыбий жир, льняное масло, микрокапсулирование, окисление липидов, качество яйца, DHA, EPA.*

Введение: Функциональные пищевые продукты, обогащённые омега-3 ПНЖК, рассматриваются как один из инструментов улучшения структуры питания населения. Куриные яйца являются удобным объектом для нутритивной модификации: жирнокислотный состав желтка относительно быстро изменяется вслед за липидным профилем рациона. В связи с этим кормовое введение омега-3 ингредиентов стало базовой технологией производства «омега-3 яиц».

Практическая реализация обогащения омега-3, особенно при использовании рыбьего жира, сталкивается с рядом ограничений: автоокисление ПНЖК при хранении и в составе комбикормов; рост первичных и вторичных продуктов окисления, ухудшающих органолептические свойства корма и яйца; вариабельность накопления омега-3 в желтке при колебаниях качества сырья и условий хранения; необходимость усиливать антиоксидантную защиту рациона для поддержания стабильности яйца при хранении [1; 2]. Микрокапсулирование омега-3 масел и концентратов рассматривается как технологический способ снизить скорость окисления и повысить воспроизводимость качества конечного продукта [3; 4].

Биологические основы накопления омега-3 ПНЖК в желтке яйца. Липиды желтка формируются преимущественно за счёт печёночного синтеза и транспорта липопротеинов очень низкой плотности (VLDL) и вителлогенина. Жирные кислоты из корма после всасывания поступают в печень, где частично включаются в состав триацилглицеролов и фосфолипидов, затем транспортируются в яичник и депонируются в желтке. Данный механизм объясняет высокую эффективность кормового подхода к модификации жирнокислотного профиля яйца.

Роль источника омега-3 принципиальна. Льняное сырьё богато ALA (18:3 n-3), которая может частично превращаться в длинноцепочечные омега-3 (EPA и DHA), однако эффективность этой конверсии ограничена и зависит от соотношения n-6/n-3 в рационе, уровня линолевой кислоты, возраста птицы и ряда физиологических факторов [1; 2]. Рыбий жир содержит готовые EPA и DHA и обеспечивает более предсказуемое увеличение этих фракций в яйце, однако именно он чаще приводит к сенсорным дефектам при повышенных дозах и является наиболее чувствительным к окислению [1; 2].

Окислительная деградация ПНЖК в корме. Омега-3 ПНЖК имеют высокую степень ненасыщенности, что делает их уязвимыми к цепным реакциям перекисного окисления. В условиях кормопроизводства и хранения ключевыми факторами риска являются контакт с кислородом, воздействие света, повышенная температура, наличие ионов переходных металлов (Fe, Cu), а также качество исходного масла (начальные значения PV/AV и содержание вторичных продуктов окисления) [5; 6].

Для рыбьего жира проблема усугубляется наличием летучих соединений, которые могут формировать специфический запах. Для льняного масла характерна высокая доля ALA и, соответственно, склонность к прогорканию при неблагоприятных условиях хранения.

Окислительная нестабильность может проявляться на уровне: сенсорики: появление посторонних запахов/вкуса, снижение потребительской приемлемости; стабильности яйца при хранении: рост показателей окисления липидов желтка (например, TBARS/МДА), ухудшение вкусовых характеристик в динамике хранения; технологической воспроизводимости: вариабельность содержания омега-3 в желтке при одинаковых номинальных дозировках из-за разной степени окисления и потерь в корме [1; 2; 5].

Микрокапсулирование омега-3 масел: принципы и основные технологии. Микрокапсулирование представляет собой заключение масла (ядра) в защитную оболочку (матрицу), формирующую барьер для кислорода и частично препятствующую выделению летучих соединений. Для кормовых омега-3 ингредиентов ожидаемые технологические эффекты включают: снижение скорости окисления при хранении ингредиента и/или комбикорма; уменьшение доли «поверхностного масла» (поверхностное масло), которая наиболее быстро окисляется; упрощение дозирования и смешивания (переход масла в сухую форму); потенциальное снижение риска сенсорных дефектов продукции при использовании рыбьего жира [3; 4].

Распылительная сушка. Одна из наиболее распространённых технологий получения сухих микрокапсулированных масел в пищевой и кормовой индустрии. Масло предварительно эмульгируют с растворами/суспензиями стеночного материала (например, комбинации белков и углеводов), после чего эмульсию распыляют и высушивают. Преимущества: масштабируемость, относительно низкая стоимость на единицу продукта, возможность включения антиоксидантов в эмульсионную систему [3; 4]. Ограничения: риск окисления на этапе распыления/сушки, необходимость оптимизации температуры, скорости подачи и состава матрицы, а также контроля доли поверхностного масла.

Жировые покрытия и матрицы. В данной группе технологий омега-3 масло/концентрат фиксируется в липидной матрице или покрывается жиром/воском, образуя гидрофобный барьер. Преимущества: высокая кислородная барьерность, выраженный эффект маскирования запаха, технологическая устойчивость при смешивании [4]. Ограничения: необходимость подбора температуры плавления матрицы и условий высвобождения в ЖКТ; избыточно «жёсткая» матрица теоретически может снижать доступность омега-3 (в зависимости от состава и технологии).

Покрытия в псевдоожиженном слое. Технология позволяет наносить многослойные оболочки и снижать поверхностное масло, что критично для окислительной стабильности. Как правило, требует более сложного оборудования, но обеспечивает высокую управляемость свойств продукта (толщина покрытия, многослойность, сочетание материалов) [4].

Эффекты льняного сырья (ALA) в рационе кур несушек. Современные исследования и мета-аналитические обзоры подтверждают, что включение льняного семени или льняного масла приводит к увеличению ALA в желтке и снижению соотношения n-6/n-3, при этом эффективность прироста DHA ограничена из-за биохимических особенностей конверсии ALA [1; 2]. Практически это означает: лён является хорошей стратегией для повышения суммарных омега-3 и ALA, однако для получения «высоких» значений DHA чаще требуется добавление рыбьего жира или иных прямых источников DHA.

С технологической точки зрения микрокапсулирование льняного масла может быть оправдано при задачах: стабилизация масла при хранении; перевод жидкого масла в сухой ингредиент для равномерного внесения; снижение потерь при хранении комбикорма. На уровне яйца ожидаемый эффект микрокапсулирования проявляется преимущественно через повышение стабильности липидов и снижение окислительных маркеров в желтке при хранении, а не через принципиально иной профиль накопления ALA.

Эффекты рыбьего жира (EPA, DHA) и сенсорные ограничения. Рыбий жир обеспечивает рост EPA и DHA в желтке, но при повышении дозировки возрастает риск сенсорных дефектов и окислительного ухудшения качества яйца [1; 2]. Поэтому технологическая задача обычно формулируется как достижение требуемого уровня DHA при минимальной дозе рыбьего жира и при максимальной стабильности.

В этой логике микрокапсулирование рыбьего жира имеет наиболее очевидные преимущества: барьерная защита от кислорода, уменьшение «ароматического следа» в корме, повышение стабильности при хранении и потенциальное снижение выраженности постороннего привкуса в яйце. Обзорные работы по инкапсуляции омега-3 подчёркивают, что ключевыми параметрами эффективности являются низкая доля поверхностного масла и высокая кислородная барьерность оболочки, а не только сам факт инкапсуляции [3; 6].

Комплексный подход: микрокапсулирование + антиоксидантная поддержка. При омега-3 обогащении рационов целесообразна антиоксидантная поддержка, например, повышение уровня витамина Е, поскольку она снижает проявления окислительного стресса и улучшает стабильность липидов в яйце при хранении [2; 7]. С практической точки зрения микрокапсулирование и антиоксиданты не являются взаимозаменяемыми: микрокапсула защищает жир на уровне ингредиента и корма, а антиоксиданты — на уровне тканей и конечного продукта.

Контроль качества омега-3 ингредиента. Для управления рисками окисления в производственной цепочке целесообразно контролировать: перекисное число (PV) и анизидиновое число (AV) как показатели качества масла/жира и степени окисления; долю поверхностного масла (в случае, если производитель предоставляет методику/паспорт качества), поскольку поверхностное масло ускоряет окисление и снижает стабильность [6]; условия упаковки (барьерность к кислороду), срок годности и режим хранения.

Контроль качества комбикорма. Даже стабильный ингредиент может деградировать при неблагоприятных условиях хранения комбикорма. К критическим факторам относятся: температура, длительность хранения, контакт с воздухом, а также взаимодействие с минеральными компонентами премикса (Cu, Fe). При производстве омега-3 яиц оправдана практика ограничения сроков хранения комбикорма с омега-3 и использование «первой очереди» для партий корма.

Контроль качества яйца. Для подтверждения эффективности обогащения и стабильности продукта применяют: анализ жирнокислотного профиля желтка (ALA, EPA, DHA; n-6/n-3); оценку показателей окисления липидов желтка (TBARS/МДА) в динамике хранения; сенсорную оценку (внутренние дегустационные панели/контроль качества), особенно при использовании рыбьего жира.

Заключение. Обогащение яиц омега-3 ПНЖК за счёт рыбьего жира и льняного сырья является эффективным и научно обоснованным подходом, однако в промышленной практике ограничивается окислительной нестабильностью ПНЖК и сенсорными рисками, особенно при повышенных дозировках рыбьего жира. Микрокапсулирование омега-3 масел повышает устойчивость липидов к окислению, облегчает дозирование (перевод в сухую форму) и может снижать выраженность нежелательного запаха/привкуса, что делает технологию наиболее целесообразной именно для рыбьего жира [3; 4; 6].

Ключевые проблемы внедрения связаны с экономикой (более высокая стоимость по сравнению с обычными маслами), вариабельностью качества микрокапсул (тип матрицы, толщина оболочки, доля поверхностного масла) и необходимостью системного контроля всей цепочки «сырьё—корм—яйцо». Наиболее перспективными направлениями считаются совершенствование оболочек с высокой кислородной барьерностью и минимальным содержанием поверхностного масла, а также комбинирование микрокапсулирования с антиоксидантной поддержкой и регулярным мониторингом PV/AV сырья и показателей окисления в яйце (например, TBARS/МДА) для подтверждения стабильности продукта при хранении [2; 6; 7].

Библиографический список

1. Ilse Fraeyea, Charlotte Bruneela, Charlotte Lemahieua, Johan Buyseb, Koenraad Muylaertc, Imogen Foubert Dietary strategies to increase omega-3 fatty acids in egg yolk: a meta-analysis // Poultry Science. 2019. Т. 98, № 12. С. 1–12.

2. Cui Ma, Md Abul Kalam Azad, Xiaoyue Yu, Jing Sun, Hao Zhang, Jinsong Pi, Yan Wu Quality of eggs enriched with omega-3 fatty acids: a review // Foods. 2020. Т. 9, № 8. С. 1–18.

3. Divya Eratte, Kim Dowling, Colin J. Barrow, Benu Adhikari Recent progress in microencapsulation of omega-3 oils: emulsion-based delivery systems and spray drying // Food Research International. 2018. Т. 111. С. 1–12.

4. Gharsallaoui A., Roudaut G., Chambin O., Voilley A., Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an updated review // Food Research International. 2017. Т. 100. С. 1–19.
5. Dan Wang, Huaming Xiao, Xin Lyu, Hong Chen, Fang Wei Lipid oxidation in food systems: a review of mechanisms and analytical methods // Annual Review of Food Science and Technology. 2023. Т. 7. С. 1–22.
6. Nolsoe H., Undeland I. The oxidation of omega-3 oils and prevention strategies: implications for fish oil ingredients // European Journal of Lipid Science and Technology. 2017. Т. 119, № 3. С. 1–15.
7. Katie P. Surai, Peter F. Surai, Brian K. Speake and Nick H. C. Sparks Antioxidant-prooxidant balance in the intestine of poultry and its modulation by diet: implications for omega-3 enrichment // Antioxidants. 2016. Т. 5, № 1. С. 1–20.

УДК 636.5.084/.087

ГИДРОЛИЗОВАННАЯ ПЕРЬЕВАЯ МУКА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК БЕЛКА В РАЦИОНАХ БРОЙЛЕРОВ

Хамви Мохамад Навар, *аспирант кафедры кормление животных, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, nawarhamwi95@mail.ru*

Аннотация: *В обзоре обобщены результаты исследований по использованию гидролизованной перьевой муки как альтернативного источника белка для цыплят-бройлеров. Рассмотрены методы переработки (высокотемпературный гидролиз, ферментативная и бактериальная обработка), влияние на переваримость протеина, аминокислотный состав и продуктивные показатели. Показано, что гидролизованная перьевая мука способна заменять до 33% соевого шрота без снижения привесов и конверсии корма.*

Ключевые слова: *перьевая мука, гидролиз, кератин, бройлеры, переваримость, аминокислоты.*

В условиях высокой стоимости традиционных источников белка, в первую очередь соевого шрота, поиск альтернативных кормовых компонентов остаётся актуальной задачей. Перьевая мука, получаемая из отходов птицепереработки, содержит до 85–90% сырого протеина в пересчёте на сухое вещество, однако её использование ограничено низкой естественной переваримостью, обусловленной высоким содержанием кератина с прочными дисульфидными связями. Гидролиз, в том числе физико-химический и ферментативный, позволяет разрушить эти связи и существенно повысить доступность аминокислот.

Зиновьев и соавт. (2024) разработали технологию получения высокопротеиновой кормовой муки из побочного сырья птицепереработки, включающей 30% гидролизованного пера. Кратковременный высокотемпературный гидролиз при 160–190 °C и давлении около 20,0 МПа позволил повысить переваримость протеина с 60 до 81% (in vitro). Полученная мука отличалась высоким содержанием суммы метионина+цистина, аргинина и треонина, что даёт возможность при её использовании снижать ввод в рационы синтетических аминокислот [1].

Adler и соавт. (2018) в экспериментах по гидролизу куриного пера с добавлением NaOH, Na_2 SO_3 и автоклавированием при 133 °C показали, что in vitro переваримость по пепсину достигала 870–893 г/кг сухого вещества. Наибольшая сохранность цистина и незаменимых аминокислот наблюдалась при использовании низких концентраций Na_2 SO_3 (0,21–0,36 %) и продолжительности автоклавирования 60–90 мин. Авторы отметили, что фракционирование гидролизата на растворимую и остаточную фракции нецелесообразно при оптимальных режимах обработки [2].

Osunbami и Adeola (2021) определили обменную энергию гидролизованной перьевой муки для бройлеров. Методом регрессии были получены значения ME 4250 ккал/кг СВ и MEn

3745 ккал/кг СВ, что превышает ранее опубликованные оценки (3300–3450 ккал/кг СВ), вероятно, за счёт более высокого содержания жира и совершенствования технологии гидролиза. Для сравнения, для flash-dried poultry protein эти показатели составили 4710 и 4081 ккал/кг СВ соответственно [3].

Adejumo и Adetunji (2018) провели биодеградацию пера с использованием иммобилизованной и нативной кератиназы из *Bacillus subtilis* и испытали полученный продукт на бройлерах. При включении 2,5% перьевой муки, обработанной иммобилизованным ферментом, прирост живой массы и конверсия корма не отличались от контроля, тогда как коммерческая перьевая мука и мука, полученная с нативным ферментом, несколько уступали по этим показателям. Гистологическое исследование кишечника не выявило патологических изменений, что свидетельствует о безопасности продукта [4].

Salehizadeh и соавт. (2025) сравнили три вида перьевой муки (варёную, обработанную коммерческим ферментом Valkerase и ферментированную Streptomyces sp. MSM5) при замене соевого шрота на 33% и 67% в рационах бройлеров. При замене 33% соевого шрота гидролизованной мукой с ферментом или бактериальной обработкой среднесуточные привесы и конверсия корма достоверно не отличались от контроля; напротив, варёная перьевая мука и все виды муки при 67% замены приводили к снижению продуктивности и ухудшению переваримости сухого вещества и протеина. Авторы связывают положительный эффект обработки с повышением содержания растворимого белка и улучшением аминокислотного профиля, в первую очередь по цистеину, серину, глицину и валину, при сохранении дефицита лизина и гистидина [5].

Таким образом, гидролизованная перьевая мука, полученная с использованием высокотемпературного гидролиза, ферментативной или бактериальной обработки, может рассматриваться как перспективный частичный заменитель соевого шрота в рационах бройлеров. Умеренный уровень включения (до 33% от белковой части) не оказывает негативного влияния на продуктивность, переваримость и здоровье птицы. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию режимов обработки для максимального сохранения лабильных аминокислот (лизина, метионина, гистидина) и снижения содержания золы в конечном продукте.

Библиографический список

1. Зиновьев, С.В. Кормовая мука с высоким содержанием протеина из побочного сырья переработки птицы / С.В. Зиновьев, В.Г. Волик, Д.Ю. Исмаилова // Птицеводство. – 2024. – №2. – С. 6–10.

2. Adler, S.A. In vitro pepsin digestibility and amino acid composition in soluble and residual fractions of hydrolyzed chicken feathers / S.A. Adler, R. Slizyte, K. Honkapaa, A-K. Loes // Poultry Science. – 2018. – Vol. 97, № 9. – P. 3343–3357.

3. Osunbami, O.T. Energy value of hydrolyzed feather meal and flash-dried poultry protein for broiler chickens and pigs / O.T. Osunbami, O. Adeola // Journal of Animal Science. – 2021. – Vol. 99, № 9. – skac073.

4. Adejumo, I.O. Production and evaluation of biodegraded feather meal using immobilised and crude enzyme from *Bacillus subtilis* on broiler chickens / I.O. Adejumo, C.O. Adetunji // Brazilian Journal of Biological Sciences. – 2018. – Vol. 5, № 10. – P. 405–416.

5. Salehizadeh, M. Transforming feather meal into a high-performance feed for broilers / M. Salehizadeh, M. Tajabadi Ebrahimi, S.N. Mousavi, A. Akhavan Sepahi, R. Orooji // Veterinary Medicine and Science. – 2025. – Vol. 11, № 3. – e70199.

УДК 636.087.7

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЗАМЕНЕ АНТИБИОТИКОВ-СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА В БРОЙЛЕРНОМ ПТИЦЕВОДСТВЕ: РОЛЬ ФИТОБИОТИКОВ, ПРОБИОТИКОВ И ИХ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМБИНАЦИЙ

Большакова Эльвира Дмитриевна, *аспирант кафедры Кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, bolshakova.elia2013@yandex.ru*
Заикина Анастасия Сергеевна, *доцент кафедры Кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, azaikina@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Разработан аналитический обзор, обосновывающий возможность замены антибиотиков-стимуляторов роста (AGP) на фитобиотики и их комбинации с пробиотиками в кормлении бройлеров. На основе четырёх ключевых публикаций (2019-2024 гг.) [2-5] обобщены механизмы действия и количественные эффекты фитобиотиков. Показано, что они укрепляют антиоксидантную защиту, снижают воспаление, улучшают барьерную функцию и морфологию кишечника, нормализуют микробиоту [3]. По данным систематического обзора (48 исследований) [1], фитобиотики повышают прирост на 5%, снижают конверсию корма на 5,6%, падёж на 42% и увеличивают выход грудки на 7,5% по сравнению с контролем, а по ряду параметров превосходят антибиотики. Экспериментально доказан синергизм комбинации Lactobacillus agilis с фитобиотиком (карвакрол+коричный альдегид+эвгенол)[4]: повышение лактата на 37-72%, элиминация Clostridium perfringens, подавление ESBL-устойчивой E. coli. Даны практические рекомендации по дозировкам и формам. Сделан вывод о перспективности фитобиотиков и синбиотиков как полноценной замены AGP.*

Ключевые слова: *бройлеры, фитобиотики, пробиотики, синбиотики, замена антибиотиков, здоровье кишечника, ESBL-резистентность, синергия.*

Запрет антибиотиков-стимуляторов роста (AGP) в ЕС (2006 г.) и распространение антибиотикорезистентных штаммов (в том числе ESBL-продуцирующих энтеробактерий) стимулировали поиск безопасных альтернатив [5]. Фитобиотики (растительные добавки: тимол, карвакрол, аллицин, коричный альдегид, эвгенол, куркумин и др.) обладают антимикробной, антиоксидантной и иммуномодулирующей активностью [2, 3]. Перспективны также синбиотики – комбинации фитобиотиков с пробиотическими лактобациллами, способные давать синергетический эффект [4]. Цель работы – на основе анализа четырёх репрезентативных статей [2-5] (*Urban et al., 2024; Obianwuna et al., 2024; систематический обзор 2009–2019 гг.; Ren et al., 2019*) [1] оценить потенциал фитобиотиков и синбиотиков как замены AGP.

Выделяют пять ключевых эффектов действия фитобиотиков:

1. Антиоксидантный – активация фактора Nrf2, снижение малонового диальдегида (маркера окислительного повреждения) на 30-50% [3].
2. Противовоспалительный и иммуномодулирующий – снижение провоспалительных цитокинов (IL-1β, TNF-α, IL-6) и повышение противовоспалительного IL-10, стимуляция секреторного IgA [2, 3].
3. Укрепление барьерной функции – увеличение экспрессии белков плотных контактов (ZO-1, окклюдин, клаудины) и муцина MUC-2 [2], снижение проницаемости кишечника.
4. Улучшение морфологии – увеличение высоты ворсинок (+13,6%) и соотношения высоты ворсинок к глубине крипт (+35,4%) при одновременном уменьшении глубины крипт [1, 3].
5. Модуляция микробиоты – снижение E. coli на 50,9%, *Clostridium perfringens,* повышение *Lactobacillus* на 40,3%, усиление продукции короткоцепочечных жирных кислот

(масляной, пропионовой) [1, 3].

В таблице 1 приведены усреднённые изменения показателей при использовании фитобиотиков или антибиотиков по сравнению с контролем.

Таблица 1

Изменение продуктивных и физиологических показателей (% относительно контроля)

Показатель	Фитобиотики	Антибиотики
Среднесуточный прирост	+ 5,0	+ 3,5
Конверсия корма	– 5,6	– 5,6
Падёж	– 42	– 57
Выход грудки	+ 7,5	– 42,3
Общий холестерин	– 7,4	– 14,6
ЛПНП («плохой» холестерин)	– 25,3	– 4,3
ЛПВП («хороший» холестерин)	+ 15,3	+ 9,1

Фитобиотики не уступают антибиотикам по конверсии корма, превосходят их по приросту, выходу грудки и липидному профилю. Антибиотики резко снижают выход грудки и ухудшают морфологию кишечника (увеличение глубины крипт на +7%), тогда как фитобиотики её улучшают [1].

Синергизм пробиотиков и фитобиотиков (эксперимент *Ren et al., 2019*).

В исследовании на 13-дневных бройлерах оценивали два пробиотических штамма – *L. agilis* LA73 и *L. salivarius* LS1 (10^{10} КОЕ/кг), два фитобиотика – формула C (карвакрол+коричный альдегид) и формула L (дополнительно эвгенол) (250 мг/кг), а также их комбинации [4].

Отдельные фитобиотики снижали уровень лактата в зобе (неблагоприятно).

Комбинация LA73 + формула L проявила устойчивый синергизм: общий лактат в зобе достиг 42,7 мкмоль/г (на 37–72% выше контроля); *Clostridium perfringens* в зобе полностью отсутствовал; выживаемость ESBL-продуцирующей E. coli ex vivo резко снижалась (лаг-фаза увеличилась в несколько раз); копийность гена интегразы 1 (маркер горизонтального переноса резистентности) уменьшилась максимально.

Пара *L. agilis* + фитобиотик, содержащий эвгенол, является перспективным прототипом синбиотика для подавления патогенов и антибиотикорезистентности [4].

Практические рекомендации.

Дозировки: эфирные масла – 200-400 мг/кг корма; сушёные травы – 0,5-3%; пробиотики – не менее 10^{9} -10^{10} КОЕ/кг [2-4].

Фаза роста: старт (1-21 день) – наиболее эффективны для формирования микробиоты [3]; финиш – поддерживающие дозы.

Формы: предпочтительны микроинкапсулированные или эвтектические смеси для защиты активных компонентов [3, 4].

Ограничения: избегать передозировки (снижение поедаемости, раздражение слизистой); учитывать вариабельность сырья.

Результаты исследования показывают, что фитобиотики являются эффективной и безопасной альтернативой антибиотикам-стимуляторам роста [1, 2, 3,]. Они улучшают здоровье кишечника по пяти направлениям, повышают продуктивность и качество продукции, а по ряду параметров превосходят антибиотики. Комбинирование фитобиотиков с хозяйн-специфичными лактобациллами даёт синергетический эффект, особенно выраженный в

подавлении ESBL-устойчивых энтеробактерий и *Clostridium perfringens* [4]. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расшифровку молекулярных механизмов, долгосрочное влияние на микробиом и экономическую оценку.

Библиографический список

1. Систематический обзор использования фитогенных кормовых добавок в питании бройлеров : обобщение данных 48 оригинальных исследований за 2009–2019 гг. – [Б. м.] : [б. и.], 2019.
2. Urban J., Kareem K.Y., Matuszewski A. et al. Enhancing broiler chicken health and performance: the impact of phytobiotics on growth, gut microbiota, antioxidants, and immunity // Phytochemistry Reviews. – 2024. – DOI: 10.1007/s11101-024-09994-0.
3. Obianwuna U.E., Chang X., Oleforuh-Okoleh V.U. et al. Phytobiotics in poultry: revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2024. – Vol. 15. – Article number 169. – DOI: 10.1186/s40104-024-01101-9.
4. Ren H., Vahjen W., Dadi T., Saliu E.-M., Goodarzi Boroojeni F., Zentek J. Synergistic Effects of Probiotics and Phytobiotics on the Intestinal Microbiota in Young Broiler Chicken // Microorganisms. – 2019. – Vol. 7. – № 12. – Article number 684. – DOI: 10.3390/microorganisms7120684.
5. Diarra M.S., Malouin F. Antibiotics in Canadian poultry productions and anticipated alternatives // Frontiers in Microbiology. – 2014. – Vol. 5. – Article number 282. – DOI: 10.3389/fmicb.2014.00282.

УДК 636.2.084 : 633.087.3 : 636.085.553

ПЕРЕВАРИМОСТЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАЦИОНОВ РЕМОНТНЫХ ТЕЛОЧЕК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ БОБОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО БЕЗАЛКАЛОИДНОГО СОРТА В СТАРТЕРНЫХ КОМБИКОРМАХ

***Кондобарова Валерия Николаевна**, аспирант кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, valeria.kondobarova@yandex.ru*

***Габдрахманов Дамир Радикович**, аспирант кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, damirgabdrahmanov41@gmail.com*

***Буряков Николай Петрович**, профессор, доктор биологических наук, заведующий кафедрой кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, n.buryakov@rgau-msha.ru*

Аннотация: Установлено, что использование экструдированных бобов белого люпина безалкалоидного сорта «Тимирязевский» в количестве 10-30 % в рецептах стартерных комбикормов для телочек способствует повышению коэффициентов переваримости питательных веществ.

Ключевые слова: ремонтные телочки, комбикорм, белый люпин, сорт «Тимирязевский», переваримость.

Ключевая задача специалистов в области скотоводства заключается в выращивании жизнеспособного, гармонично развитого молодняка, отличающегося интенсивными приростами живой массы и высокой конверсией корма. Для достижения этого показателя кормовые рационы в первую очередь обязаны обеспечивать оптимальное поступление переваримой энергии и белка, а также восполнять потребность животных в минеральных элементах и биоактивных соединениях.

Стратегия кормления молодняка крупного рогатого скота в первые месяцы жизни – фундамент здоровья и будущей продуктивности поголовья. От структуры рациона,

организации подкормки телят молочного периода выращивания объемистыми кормами и использования в рационах кормления престартерных, а затем и стартерных, комбикормов зависит переход от молочного типа питания к ферментативному и, в целом, становление деятельности желудочно-кишечного тракта молодняка как у взрослых полигастричных животных [1, 2, 3, 5, 6, 7].

Уровень усвоения питательных веществ рациона выступает ключевым маркером эффективности кормления. На данный параметр напрямую влияют структура рациона, его полноценность, возрастные и физиологические особенности поголовья, а также внешние факторы, например, климатические условия. Расчётные коэффициенты переваримости не только отражают степень биодоступности энергии и азотистых соединений, но и свидетельствуют о симбиозе рациона, микрофлоры рубца и ферментативной деятельности желудочно-кишечного тракта [2, 3, 5, 7].

В рамках научно-хозяйственного эксперимента, проведённого в 2024 году на базе СПК «Колхоз имени Горина» Белгородского района Белгородской области, был осуществлен физиологический опыт (прямой, балансовый метод), для которой из каждой группы было отобрано по 3 головы телочек черно-пестрой породы в возрасте 6 месяцев (таблица 1). На протяжении физиологического исследования животные были клинически здоровыми. Учетный период длился 5 дней.

Таблица 1

Схема физиологического опыта

Группа	Количество голов	Возраст животных, мес.	Особенности кормления	Живая масса, кг
1-я контрольная	3	6	ОР + стартерный комбикорм с содержанием 0% бобов люпина белого	231,83
2-я опытная	3	6	ОР + стартеный комбикорм с содержанием 10% бобов люпина белого	249,20
3-я опытная	3	6	ОР + стартеный комбикорм с содержанием 20% бобов люпина белого	237,80
4-я опытная	3	6	ОР + стартеный комбикорм с содержанием 30% бобов люпина белого	241,17

Со 3-го месяца жизни рацион ремонтных телочек состоял из сена, кукурузного силоса и стартерного комбикорма. Ремонтные телочки контрольной группы получали базовый комбикорм, принятый в хозяйстве. В рецепты комбикормов опытных групп вводили экструдированные бобы люпина белого безалкалоидного сорта [4] с массовой долей 10%, 20 и 30% соответственно.

Питательная ценность стартерных комбикормов, обменная энергия – 11,0-12,1 МДж/кг, сухое вещество – 88,46-89,69%, сырой протеин – 19,01-19,19%, сырой жир – 3,81-4,59%, сырая клетчатка – 6,23-7,09%, ЛПУ – 37,74-41,68%, лизин – 0,75-0,83%.

Рационы кормления телят разрабатывались в соответствии с нормативами потребностей молочного скота в питательных веществах, установленными ВИЖ (2018). Рецепты престартерных и стартерных комбикормов были оптимизированы с использованием программного комплекса «КормОптима». Производство комбикормов для опытных групп осуществлялось на комбикормовом заводе ООО «Агроуниверсал» (Ивнянский район, Белгородская область).

В период проведения балансовых опытов уровень количество потребленных питательных веществ было приблизительно одинаковым. В результате проведенных физиологических экспериментов по определению переваримости питательных веществ рационов ремонтных телочек послемолочного периода выращивания установлено, что включение экструдированных бобов люпина белого в стартерных комбикормах способствует высокой эффективности использования питательных веществ заданного рациона (таблица 2):

Таблица 2:

Коэффициенты переваримости основных питательных веществ, %

Показатель, %	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Сухое вещество	69,51 ± 0,194	72,91 ± 2,212*	72,78 ± 0,740*	71,00 ± 0,328*
Органическое вещество	70,16 ± 0,190	73,79 ± 0,229*	73,54 ± 0,719*	71,88 ± 0,318*
Сырой протеин	66,67 ± 0,212	70,47 ± 0,231*	70,44 ± 0,804*	68,66 ± 0,355*
Сырой жир	70,76 ± 0,186	78,15 ± 0,171*	77,87 ± 0,601*	79,54 ± 0,231*
Сырая клетчатка	45,76 ± 0,345	52,36 ± 0,373*	51,89 ± 1,308*	46,74 ± 0,603
БЭВ	76,59 ± 0,149	79,16 ± 0,163*	79,09 ± 0,568*	77,81 ± 0,251*

Примечание: * - здесь и далее разность достоверна по отношению к контрольной группе при $p<0,05$.

Анализ балансовых показателей у подопытных телок шестимесячного возраста выявил положительную динамику усвоения кормовых компонентов при добавлении экструдированных бобов белого люпина: коэффициенты переваримости сухого и органического вещества, сырого протеина, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ превысили контрольные значения на 1,49-3,4%; 1,72-3,63%; 1,99-3,8%; 7,11-8,78%; 0,98-6,6% и 1,22-2,57% соответственно. Полученные данные интерпретируются как свидетельство ранней функциональной дифференциации пищеварительного тракта, приближающейся к физиологической модели взрослых жвачных.

Так, улучшение переваримости сырого протеина, предположительно, объясняется более высокой долей нерасщепляемого в рубце протеина в люпине, что способствует улучшению аминокислотного профиля в тонком кишечнике. Вместе с тем, уровень ввода изучаемого компонента 30 % повлек за собой снижение показателей усвояемости, что вероятно констатирует превышение порога оптимальной величины замещения протеиновых компонентов и нарушение гомеостаза рубцовой ферментативной системы.

Резюмируя, можно констатировать, что включение экструдированных бобов белого люпина безалкалоидного сорта «Тимирязевский» в рецептуру стартерных комбикормов на уровне 10-30 % оптимизирует процессы пищеварения у телочек послемолочного периода выращивания, что подтверждается достоверным увеличением коэффициентов переваримости основных нутриентов.

Библиографический список

1. Богданович И. В. Влияние включения цельного зерна кукурузы в рацион телят молочного периода выращивания на их дальнейшую продуктивность и переваримость питательных веществ кормов //Зоотехническая наука Беларуси. – 2023. – Т. 58. – №. 1. – С. 160-171.

2. Буряков, Н.П. Кормление ремонтного молодняка молочного скота: Монография / Н.П. Буряков. М.А. Бурякова. – Иркутск: Мегапринт, 2017 – 258 с.
3. Влияние белкового концентрата на продуктивность и переваримость питательных веществ рационов коров / Н. П. Буряков, М. А. Бурякова, И. А. Касаткина [и др.] // Зыкинские чтения : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора медицинских наук, профессора Л.Ф. Зыкина, Саратов, 28 апреля 2020 года / Под редакцией О.С. Ларионовой, И.А. Сазоновой. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2020. – С. 35-41. – EDN JPWYKY.
4. Гатаулина, Г. Г. Люпин белый (Lupinus albus L.) - альтернатива сое: новый сорт Тимирязевский / Г. Г. Гатаулина, Н. В. Медведева, А. В. Шитикова // Кормопроизводство. – 2020. – № 1. – С. 36-40. – EDN SAHENL.
5. Гречкина В. В., Шейда Е. В., Лебедев С. В., Маркова И. В., Рябов Н. И. Переваримость питательных веществ и баланс азота у телят в зависимости от уровня аминокислотного питания // Животноводство и кормопроизводство. 2021. № 3. С. 47-56.
6. Переваримость кормов и продуктивность телят при скармливании зерна рапса, люпина, вики / В. Ф. Радчиков, В. П. Цай, А. Н. Кот [и др.] // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции : Материалы международной научно-практической конференции, Ставрополь, 25 ноября 2016 года. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2016. – С. 460-468. – EDN XRAWBB.
7. Пучков А.А., Харитонов Е.Л. Влияние нетрадиционных источников протеина на процессы пищеварения и роста у бычков холмогорской породы в период интенсивного доращивания // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2017. – № 2. – С. 87-95.

УДК 636.2.084:636.087.8 (470.41)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБИОТИКА В КОРМЛЕНИИ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ НА ПРИМЕРЕ ООО «АГРОФИРМА «АНЯК»

***Габдрахманов Дамир Радикович**, аспирант кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, damirgabdrahmanov41@gmail.com*

***Кондобарова Валерия Николаевна**, аспирант кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, valeria.kondobarova@yandex.ru*

***Научный руководитель:** Буряков Николай Петрович, профессор, доктор биологических наук, заведующий кафедрой кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, n.buryakov@rgau-msha.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния повышенной дозировки пробиотика «ПроВетин» на продуктивность и экономические показатели молочного скотоводства. Установлено достоверное повышение удоев и улучшение качества молока.

Ключевые слова: пробиотик, лактирующие коровы, молочная продуктивность, экономическая эффективность.

Повышение продуктивности молочного скота требует внедрения современных технологий кормления, направленных на оптимизацию процессов пищеварения. Использование пробиотиков является одним из эффективных способов стабилизации рубцовой микрофлоры. В условиях интенсивного производства особое значение приобретает изучение эффективности повышенных дозировок таких препаратов [1-5, 7].

Исследование проводили с декабря 2024 года по апрель 2025 года, на предприятии ООО «Агрофирма «Аняк». Эксперимент проводили на лактирующих коровах голштинской черно-пестрой породы с 21 по 150 день доения. Коровы потребляли рационы для

высокопродуктивных коров, который состоял из силоса кукурузного, сенажа люцернового, кукурузы плющенной, комбикорма КК-60-1. Рационы кормления и их питательность советовали нормам ВИЖа (2018).

Для проведения научно-хозяйственного опыта было отобрано 100 лактирующих коров методом сбалансированных групп-аналогов. Животные были разделены на две группы по 50 голов в каждой. Первая группа, – контрольная, получала рацион, содержащий основной комбикорм предприятия, а вторая, - опытная группа, рацион, содержащий комбикорм с уровнем ввода пробиотика «ПроВетин» в количестве 40 г/гол. в сутки [6].

Условия содержания во всех группах идентичны, находились в одном подразделении, и соответствовали технологическим параметрам, принятым для содержания голштинской черно-пестрой породы в лактирующий период.

В период исследования изучали показатели молочной продуктивности: валовый надой, среднесуточный удой, состав и качество молока.

Одним из главных показателей, характеризующих эффективность молочного производства, является валовый надой молока. Наиболее высокий валовый удой в конце исследования был у 2-й опытной группы – 267 585 литров, что на 3,4 % выше по сравнению с 1 контрольной группой.



Рис. 1. Валовой надой, кг

Среднесуточные удои в контрольной и опытной группах показывает выраженное положительное влияние пробиотика «ПроВетин» на молочную продуктивность животных, особенно при длительном применении (рис. 2).

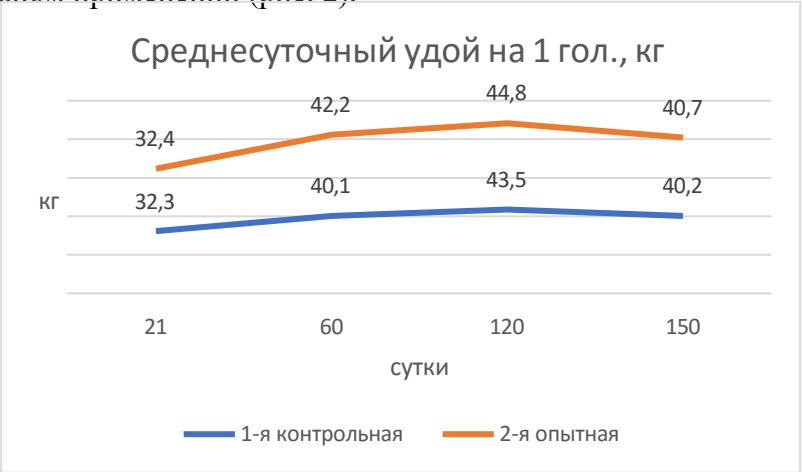


Рис. 2. Среднесуточный удой молока на 1голову, кг

На 21-е сутки лактации удои были практически одинаковыми во всех группах. Это указывает на отсутствие значимых различий в начале лактации и минимальное влияние пробиотика в краткосрочной перспективе.

Начиная с 60-го дня доения, продуктивность коров в опытной группе существенно возрастает. Уже на этом этапе прирост по сравнению с контролем составляет: +2,1 кг (5,2%) при уровне ввода «Проветина» 40 г.

На 120-й день доения: 1-я контрольная группа – 43,5 кг, 2-я опытная группа – 44,8 кг (+3,0%). К 150-му дню удои в контрольной группе снижаются до 40,2 кг, в то время как во 2-й опытной группе они составляют – 41,0 кг (+2,0%).

Таким образом, применение пробиотика «ПроВетин» (40 г/гол./сут.) в рационе кормления лактирующих коров способствует более высокому и устойчивому уровню удоев в течение всей лактации. Прирост продуктивности становится наиболее заметным после 60-го дня доения и сохраняется вплоть до 150-го дня.

Показатели состава и качества молока при использовании пробиотика «ПроВетин» в кормлении лактирующих коров также демонстрирует положительное влияние на большинство исследуемых параметров (табл. 1).

Таблица 1

Показатели состава и качества молока при использовании в кормлении пробиотика «ПроВетин»

Группа	Показатели						
	Жир, %	Белок, %	Лактоза, %	Сухое вещ-во, %	Мочевина, мг/100мл	pH	Сомат-е клетки, тыс/см^3
1-я контрольная	4,02	3,6	4,94	13,37	28,3	6,55	188
2-я опытная	4,54	3,91	4,67	13,84	28,6	6,51	125
Норма [4]	3,2-4,8	2,8-3,6	4,4-4,9	11-14	15-30	6,3-6,7	Не более 300

В опытных группах наблюдается увеличение массовой доли жира: в контрольной группе жир составляет 4,02%, во второй опытной– 4,54%. Это увеличение находится в пределах физиологической нормы (3,2-4,8%) и свидетельствует о повышении энергетической ценности молока. Белок также показывает рост: с 3,6% в контрольной группе до 3,91% во второй группе, что значительно превышает верхний предел нормативного диапазона (2,8-3,6%) и указывает на улучшение синтетической функции молочной железы.

Лактоза в опытных группах немного снижается (с 4,94% в контроле до 4,67% во-2-й опытной группе), но остаётся в пределах нормы (4,4-4,9%). Это может быть связано с увеличением удоя и разбавлением содержания лактозы на фоне повышения других компонентов.

Содержание сухого вещества также возрастает: с 13,37% в контрольной группе до 13,84% в опытной, что подтверждает улучшение общего качества молока.

Мочевина во 2-й опытной группе незначительно повышается: с 28,3 мг/100 мл в контроле до 28,6 мг/100 мл во 2-й опытной группе, и при этом остаётся в пределах нормы. pH молока остаётся стабильным и физиологически нормальным во всех группах (в пределах 6,3–6,7), что указывает на отсутствие нарушений в кислотно-щелочном равновесии.

Количество соматических клеток значительно снижается с 188 тыс/см³ в контрольной группе до 125 тыс/см³ в третьей опытной группе. Эти показатели существенно ниже допустимого уровня (не более 300 тыс/см³), что свидетельствует об улучшении здоровья вымени и снижении субклинических воспалений.

Добавление пробиотика «ПроВетин» в количестве 40 граммов на голову оказывает благоприятное влияние на состав и качество молока, особенно в части повышения содержания белка и жира, а также снижения соматических клеток.

При проведении исследования, коровы, потреблявшая рационы с пробиотиком «ПроВетин», отличалась хорошим самочувствием и высоким иммунитетом, что положительно влияло на выше представленные показатели.

Таким образом, установлено, что наивысшим среднесуточным удоем, лучшим составом и качеством молока, отличались коровы 2-й опытной группы, в кормлении которых использовали пробиотик «ПроВетин» в количестве 40 г на голову в сутки.

Библиографический список

1. Афанасьева А. И., Сарычев В. А., Сосин И. В. Влияние ферментно-пробиотического препарата «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров //Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – №. 4. – С. 134-141.

2. Востроилов, А. В. Влияние использования пребиотических препаратов в период раздоя на молочную продуктивность коров первой лактации / А. В. Востроилов, А. В. Панин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1(60). – С. 130-133. – EDN PZQTYV.

3. Габдрахманов, Д. Р. Влияние пробиотика «Проветин» на молочную продуктивность коров голштинской породы в условиях Республики Татарстан / Д. Р. Габдрахманов, Н. П. Буряков // Инновационное развитие продуктивного и непродуктивного животноводства : сборник трудов международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию со дня рождения и 50-летию трудовой деятельности Заслуженного учёного Брянской области, Почётного профессора Брянского ГАУ, доктора биологических наук, профессора Крапивиной Елены Владимировны, Брянск, 14 ноября 2025 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2025. – С. 366-371. – EDN EPPVEM.

4. ГОСТ Р 52054-2023 «Национальный стандарт Российской Федерации. Молоко коровье сырое. Технические условия» // М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2023.

5. Использование пробиотиков для повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных / И. Н. Сычева, Е. В. Казакова, Е. С. Латынина [и др.] // Вестник АПК Верхневолжья. – 2024. – № 2(66). – С. 46-53. – DOI 10.35694/YARCX.2024.66.2.006. – EDN LDVTLX.

6. ПроВетин Б: инструкция по применению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://пробиоген.рф/storage/files/shares/biopreparates/ПроВетин%20Б.pdf

7. Эффективность использования комплексной синбиотической кормовой добавки в период раздоя лактирующих коров / В. Г. Косолапова, Н. П. Буряков, Д. Е. Алешин, О. Г. Мокрушина // АгроЗооТехника. – 2024. – Т. 7, № 1. – DOI 10.15838/alt.2024.7.1.2. – EDN GINDHL.

УДК 636.2.087.7

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ЙОДА «САТУРАН J» НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕЧЁНОЧНОГО ПРОФИЛЯ КРОВИ У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

Феоктистова Л.А.*, аспирант кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, lucybr@yandex.ru*

Научный руководитель: *Буряков Н.П.**, доктор биологических наук, профессор кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени Тимирязева, n.buryakov@rgau-msha.ru*

Аннотация*: Исследовано влияние органического йода («Сатуран J») на биохимический статус крови дойных коров. В эксперименте 45 животных распределены на контроль и две опытные группы. Установлено, что в опытных группах показатели АЛТ, АСТ и ГГТ характеризуются меньшей вариабельностью по сравнению с контролем, где отмечены*

выраженные сезонные колебания. Показатели альбумина, общего белка и глобулинов остаются выше и стабильнее при введении добавки. Полученные данные свидетельствуют о стабилизирующем влиянии органического йода на метаболический статус и функциональное состояние печени.

Ключевые слова: *йод, лактирующие коровы, биохимия крови, продуктивность, кормовая добавка, «Сатуран J».*

Актуальность исследования

Йод является незаменимым микроэлементом, участвующим в синтезе тиреоидных гормонов, регулирующих энергетический обмен, рост и репродуктивную функцию у крупного рогатого скота. Его дефицит связан с нарушением метаболизма, снижением продуктивности, репродуктивными расстройствами и изменением тиреоидного статуса животных [3].

Повышенная потребность в йоде наблюдается в периоды раздоя и поздней лактации, когда возрастает метаболическая нагрузка. Недостаточное его поступление в этот период приводит к ухудшению репродуктивных показателей и нарушению эндокринной регуляции [3, 5].

Органические формы йода характеризуются более высокой биодоступностью и эффективным включением в метаболические процессы. Показано, что йодсодержащие добавки способны влиять на антиоксидантный статус, функцию щитовидной железы и биохимические показатели крови у молочного скота [1, 2].

Одним из таких продуктов является «Сатуран J» — источник органически связанного йода. Его использование в рационах молочных коров способствует улучшению продуктивности и стабилизации физиологического состояния животных [1]. В связи с этим оценка длительного применения органического йода у коров представляет научный и практический интерес.

Материалы и методы

Эксперимент проходил в период с 14 февраля 2025 года по 15 декабря 2025 года на базе отделения молочно-товарной фермы (МТФ) ООО «Вакинское Агро» (Рязанская область). Животные содержатся на привязи, получают полносмешанный рацион (TMR), сбалансированный по всем основным питательным веществам. В качестве источника органического йода используется кормовая добавка «Сатуран J», скармливаемая вручную индивидуально.

Исследование проводилось на 45 лактирующих коровах, распределённых на три группы по 15 голов методом пар-аналогов. Разность в удоях между животными не превышала 1,5 л, а в днях лактации – 14 суток.

- Контрольная группа получает основной рацион без дополнительного йода.
- Опытная группа 1 получает основной рацион + «Сатуран J» 25 г/гол/сут.
- Опытная группа 2 получает основной рацион + «Сатуран J» 50 г/гол/сут.

Регистрация продуктивности проводилась по данным системы DelPro и контрольных доений. На начало опыта, в середине и конце у животных проведены биохимические исследования крови в лаборатории ООО «Вет Юнион».

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены результаты биохимического анализа сыворотки крови контрольной и опытной группы.

Таблица 1

Показатели крови лактирующих коров при использовании органического йода

Показатель	РЗ	Дата	Контроль	Опытная 1	Опытная 2
АЛТ, Ед/л	17-37	14.02.25	26,8 ± 1,5	26,2 ± 1,0	24,8 ± 1,7
		15.07.25	30,6 ± 3,0	29,2 ± 1,0	26,4 ± 2,9
		04.10.25	23,2 ± 1,6	28,0 ± 0,6	28,0 ± 1,6
АСТ, Ед/л	48-100	14.02.25	128,6 ± 4,8	122,2 ± 9,9	102,8 ± 22,0

		15.07.25	165,4 ± 66,4	113,0 ± 5,4	103,2 ± 15,6
		04.10.25	132,8 ± 11,0	140,6 ± 13,6	140,6 ± 25,4
Альбумин, г/л	27-43	14.02.25	30,0 ± 0,4	29,0 ± 0,6	28,0 ± 0,9
		15.07.25	30,6 ± 13,3	30,0 ± 0,7	28,2 ± 1,9
		04.10.25	26,6 ± 1,0	29,8 ± 0,7	28,4 ± 1,7
А/Г коэффициент	0,6-1,6	14.02.25	0,7 ± 0,0	0,64 ± 0,0	0,58 ± 0,1
		15.07.25	0,7 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1
		04.10.25	0,7 ± 0,0	0,6 ± 0,0	0,6 ± 0,1
Гамма-ГТ, Ед/л	7-48	14.02.25	50,4 ± 4,0	35,8 ± 6,2	21,7 ± 10,8
		15.07.25	55,4 ± 24,6	44,0 ± 24,4	40,2 ± 6,3
		04.10.25	49,2 ± 4,9	62,6 ± 24,4	45,0 ± 9,0
Билирубин общий, мкмоль/л	0,7-14	все даты	<1,7–1,9	<1,7–1,9	<1,7
Билирубин прямой, мкмоль/л	<1,7	все даты	<1,7	<1,7	<1,7
Щелочная фосфатаза, Ед/л	17-153	14.02.25	100,6 ± 20,2	85,0 ± 6,3	81,2 ± 6,6
		15.07.25	97,8 ± 37,0	84,4 ± 4,2	82,0 ± 5,0
		04.10.25	74,0 ± 22,2	72,5 ± 8,2	66,4 ± 10,5
Общий белок, г/л	59-82	14.02.25	71,4 ± 1,4	75,2 ± 1,7	78,0 ± 4,1
		15.07.25	77,0 ± 33,5	80,2 ± 4,0	76,2 ± 4,7
		04.10.25	67,0 ± 3,2	80,2 ± 1,9	78,4 ± 3,3
Глобулины, г/л	~25-50	14.02.25	44,6 ± 2,5	46,0 ± 1,8	50,0 ± 3,6
		15.07.25	46,4 ± 2,3	50,2 ± 4,4	48,0 ± 6,5
		04.10.25	40,4 ± 2,3	50,4 ± 2,1	50,0 ± 3,2

АЛТ — цитозольный фермент гепатоцитов, маркер целостности мембран и цитолиза, отражающий устойчивость печёночного метаболизма к кормовой нагрузке у жвачных [7]. В контроле активность снижалась к октябрю (26,8 ± 1,5 → 23,2 ± 1,6 Ед/л), что может быть связано с сезонной перестройкой обмена. В опытной группе 1 отмечена умеренная стабилизация с тенденцией к росту (26,2 ± 1,0 → 28,0 ± 0,6 Ед/л), в группе 2 — близкие к исходным значения (24,8 ± 1,7 → 28,0 ± 1,6 Ед/л). Все изменения укладываются в физиологическую вариабельность.

АСТ локализуется в цитозоле и митохондриях печени и мышц, отражает интенсивность энергетического обмена и тканевого метаболизма [7]. В контроле наблюдалась высокая вариабельность с пиком в июле (165,4 ± 66,4 Ед/л), что может указывать на эпизодический метаболический стресс. В опытных группах динамика была более сглаженной без выраженных пиков, что свидетельствует о более стабильном обмене.

Общий белок отражает интегральное состояние белкового обмена [3]. В контроле наблюдалось снижение к октябрю (71,4 → 67,0 г/л), в опытных группах показатели были выше и стабильнее (до 80,2 г/л), что свидетельствует о более устойчивом метаболическом статусе.

Глобулины характеризуют иммунный статус и белки острой фазы [5]. В контроле отмечено снижение (44,6 → 40,4 г/л), тогда как в опытных группах значения сохранялись на более высоком уровне (до 50,4 г/л), что указывает на более стабильную иммунную реактивность.

Альбумин — основной транспортный белок плазмы и индикатор белоксинтетической функции печени [7]. Во всех группах значения оставались в физиологических пределах. В контроле отмечено снижение к октябрю (30,0 → 26,6 г/л), тогда как в опытной группе 1 уровень был стабильным (29,0 → 29,8 г/л), в группе 2 — также без существенных изменений (28,0 → 28,4 г/л), что указывает на более устойчивый белковый обмен при введении органического йода.

Альбумин/глобулиновое соотношение отражает баланс белоксинтеза и иммунной активности [5] и оставалось стабильным во всех группах (0,58–0,70), без выраженной динамики, что свидетельствует о сохранении белкового гомеостаза.

ГГТ — маркер функционального состояния гепатобилиарной системы и адаптационных процессов печени [4]. В контроле отмечались более выраженные колебания с пиком в июле (55,4 ± 24,6 Ед/л). В опытных группах динамика была сглаженной, что может указывать на меньшую функциональную нагрузку на печень.

Общий билирубин и его фракции отражают интенсивность пигментного обмена и экскреторную функцию печени [7]. Во всех группах показатели оставались минимальными без выраженной динамики, что исключает признаки нарушения гемолиза и билирубинового обмена.

Щелочная фосфатаза характеризует гепатобилиарный и костный метаболизм [4]. В контроле отмечено снижение к октябрю (100,6 → 74,0 Ед/л), тогда как в опытных группах спад был менее выражен, что может указывать на более стабильный минеральный и ферментный обмен.

Вывод: применение органического йода в рационах молочного скота стабилизирует активность печёночных ферментов, снижает вариабельность метаболических показателей и улучшает белковый обмен.

Библиографический список

1. Mohanta R. K., Swain R. K., Mohapatra A., Behera D. Assessment of iodine supplementation on antioxidant status and thyroid hormones in dairy cows // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2020. Vol. 61. 126516. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126516.
2. Niero G., Moschini M., Masoero F. Iodine levels in dairy products: a farm to fork review // Journal of Dairy Science. 2023. Vol. 106(4). P. 2213–2232. DOI: 10.3168/jds.2022-22666.
3. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th rev. ed. Washington, DC: National Academies Press, 2021.
4. Goff J. P. Mineral absorption mechanisms, mineral interactions and diet considerations for dairy cows // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101(12). P. 10443–10468.
5. El-Sharawy M., El-Sherif M. M., Khalifa M. M., El-Sayed M. M. Reproductive performance of dairy cows fed different iodine sources during transition period // Assiut Veterinary Medical Journal. 2021. Vol. 67(169). P. 18–25.
6. Choudhary A., Meena H. R., Bairwa V. K. et al. Role of minerals in reproductive health of dairy animals // E-PashuPalan. 2021.
7. Kaneko J. J., Harvey J. W., Bruss M. L. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 6th ed. Academic Press, 2018.

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗООЛОГИИ, МОРФОЛОГИИ И ФИЗИОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ»

УДК 631.363

ECOLOGICAL STRUCTURE OF WINTER RESIDENTIAL AVICOMPLEXES IN THE SOUTH-EASTERN MOSCOW REGION

Artyukhov Matvey Yurievich, *postgraduate of the Department of Zoology and Aquaculture, Institute of Zootechnics and Biology of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, OLoryy@yandex.ru*

Abstract: *In this specific paper we described ecological parameters of birds in settlements of the south-eastern Moscow region by gathering data from bird counts in 3 cities and 2 villages. Results show that biomass and transformed energy have largely increased between seasons, main dominants*

are all typical urban birds, and that they mostly gather energy through consuming seeds or mellow fruits on the soil surface.

Key words: *birds, settlements, biomass, energy.*

Birds, due to their abundance, high level of metabolic processes, diversity of consumed food and preferred habitats, are extremely important in nearly every type of ecosystem, from polar deserts to equatorial forests. Most interesting ones in that regard are residential avicomplexes, both rural and urban, mainly because they have very peculiar properties (a large number of unusual adaptations to anthropogenic activity in most species, smaller amounts of available food and constant negative influence of humans on the environment).

This paper aims to describe ecological structure of bird population in cities and villages of the southern Moscow district, which up to this point was largely undescribed. Its main objectives are the study of biomass and energetic transformation measures, the description of species that are dominant in these parameters, and the characterization of bird groups which are divided by the nature of their consumed food and tree layer habitat.

Studies were conducted in 5 settlements – 3 cities (Ramenskoye, Voskresensk and Kolomna) and 2 villages (Vinogradovo and Peski) from 2023 to 2026.

Among these localities, Ramenskoye is the most urbanized site with the largest area of multi-story buildings, localized only 30 km to the south of Moscow. In terms of natural landscapes, the most interesting part of this city is the existence of neighboring humid meadows, which are not present in any other settlement.

Voskresensk is the least developed among chosen towns, mostly being composed of two or three-story houses, which is especially true of its eastern half. Unlike the previous city, it is located on the eastern shore of Moscow River and as such has a suitable environment for rheophilic species of birds.

Kolomna is intermediate in terms of urbanization, having both multi- and one-story areas typical of a remote (100 km from the capital) local center. It is also a fitting place for river dwellers, mainly because it is located in the mouth of Moscow River and also borders larger Oka.

Vinogradovo is a smaller one of two researched villages, with almost no multi-story buildings. It borders Moscow River Basin nature reserve in the west, which is well-known as one of the main places of waterbird breeding and migration stop in the region [2].

Peski is slightly more urbanized as a former workers' settlement, although the most interesting part of it is the presence of a wide variety of biotopes for many different types of birds, namely fields, evergreen and deciduous forests, small Mezenka river and bigger Moscow basin.

Winter bird counts were being conducted in the period between November 16th and February 28th every week, which resulted in 28 visits to the south-eastern Moscow region. Each of them tried to encompass as much biotopes as possible, from built-up areas and cemeteries to parks and ponds. Yu. S. Ravkin's method is used to calculate the bird density per 1 square kilometer, dominance of species is determined according to A.P. Kuzyakin's work. Latin names are taken from the research [1]. Gathered data was processed through computer programs of the Institute of Systematics and Ecology of Animals of Siberian Department of RAN, which use information from the monograph "Birds of USSR" [3].

According to our gathered data, mean biomass is higher in cities compared to villages of the region (Table 1).

Table 1

Total biomass and the amount of energy transformed by birds in residential habitats of the southeastern Moscow region in the autumn and winter period of 2023-2026

Settlements	Total biomass, kg/km^2		Amount of transformed energy, kcal a day /km^2	
	Autumn	Winter	Autumn	Winter
Ramenskoye	223	185	67.3	65.4

Voskresensk	240	251	71.4	82.3
Kolomna	189	233	62.2	77.6
Vinogradovo	96	133	31.0	65.7
Peski	162	177	48.4	74.0

That distribution of parameters is fairly similar to the results gathered in autumn [Zheleznova, Artyukhov, 2026], although parameters themselves change in various ways. Biomass decreases only in Ramenskoye, while the most drastic increase happens in Vinogradovo, with all other settlements having smaller growth between seasons.

Most of these changes are linked to a proportion shift in biomass dominants, which are represented by 4 species of birds (compared to 7 in fall, with mallard *Anas platyrhynchos*, grey heron *Ardea cinerea* and rook *Corvus frugilegus* largely leaving for wintering grounds). Most common one is a rock dove *Columba livia*, which has a percentage of biomass varying from 14 to 60% in every settlement except Peski (even in spite of a bigger multi-story area, with abundance in Vinogradovo probably being caused by concentration of doves from neighboring less developed territories).

Hooded crow *Corvus cornix* was prevalent in its cumulative mass in three cities and Peski (where that parameter was between 20 and 35%), while in Vinogradovo its percentage was found to be less than 10.

Another dominant corvid in studied localities was jackdaw *Coloeus monedula*, which was most numerous in Voskresensk (16.5%) and Kolomna (18.7%), two cities where huge flocks of these birds were wintering because of the abundant food resources of anthropogenic nature.

The most unusual of prevalent species is common raven *Corvus corax*, which only had a large proportion of 25.3% in Vinogradovo, where many of these birds were observed flying constantly between the forest which adjoins eastern border of the village, and the settlement itself.

Energy, which is accumulated by birds through consumption of their preferred food and can be used to represent their role in ecosystems, had similarly only decreased in Ramenskoye (Table 1), while the biggest increase (more than twice-fold) was observed in Vinogradovo. Compared to autumn, there is no drastic difference between types of settlements, with villages having a similar amount of the parameter like cities.

Dominant species by that parameter are more numerous compared to biomass (6, mainly because 2 additional prevailing species have a small body weight). Much like with mass, mallard, grey heron and rook all lose their high percentage, while fieldfare *Turdus pilaris* becomes more numerous.

Rock dove is also an abundant species in terms of energetic expenses, although unlike biomass indicators it’s only dominant in cities, with a percentage of 37 to 57.

Hooded crow prevails according to this parameter in the same settlements as with the cumulative mass (13-25%).

Jackdaw transforms the most energy in the same cities it is also the most abundant, with 10-21% of the entire energy flow.

Eurasian tree sparrow *Passer montanus* is the first of the species that aren’t both dominant in biomass and energy expenses due to the small size of these birds. In the latter parameter, they are only numerous in villages (20.5% in Voskresensk, 12.2 in Peski).

Fieldfare only majorly contributes to the transformation of energy in Vinogradovo (10.2%), where big flocks of them were observed.

Great tit *Parus major* is important to this parameter solely in Peski, where the percentage of it is 13.1%.

As for *consumption*, birds of south-eastern Moscow region mostly take mellow fruits and seeds (much like in autumn), which is caused by the miniscule number of other options (around 75-94%).

Feeding on invertebrates during winter is mostly reduced to consuming xylophages in anabiosis, and so a big percentage of it in villages (13.7 and 14.7 compared to 4-5 in cities) is caused by an abundance of woodpeckers Picidae, especially great spotted *Dendrocopos major* (20

specimens/km^2 in Vinogradovo and 32 in Peski).

The biggest number of predators that prefer vertebrate prey was observed in Vinogradovo (10.9, while other settlements only had 0.4-7 of the overall percentage), namely in the form of western marsh harrier *Circus aeruginosus* (spotted in the very warm December near the border of the nature reserve), Eurasian sparrowhawk *Accipiter nisus* and common kestrel *Falco tinnunculus*.

Vegetative plant parts were used as a source of food only in two settlements – Kolomna (0.2) and Peski (0.4), the only places in winter south-eastern Moscow region where mallard was present.

Since birds use widely different types of food, it is not surprising that its *layer structure* is just as important in describing their ecology. Most abundant of these groups are birds that are finding their food resources on the surface (from 52 to 80%).

Generally, second most used places of gathering food are crowns of trees (9-20), although shrubs and tall grasses are also quite close in that regard (9 to 18%). Water habitats are mostly used in localities where wide rivers are close to the settlement (5-6% in such settlements, while Ramenskoye only has 0.7% of rheophiles and limnophiles, and Kolomna has 1.2), trunks are near-exclusively used by fairly small taxonomical groups of woodpeckers, nuthatches Sittidae and treecreepers Certhidae (0.4-3), while air-feeding species (sparrowhawk) were only noted in Ramenskoye (0.06 of the overall percentage) and Vinogradovo (0.9).

In conclusion, our data show that biomass is distributed in a similar way to autumn (cities have a higher parameter), energy transformation contrarily becomes more homogenized, dominants by these metrics are typical urban species (with only migratory ones disappearing compared to fall), while prevailing ecological groups are carpophages and surface-feeders.

References

1. Kalyakin M.V., Voltsit O.V., Kontorshchikov V.V. et al. An annotated list of bird species in Moscow and the Moscow region. // M.: KMK Scientific Press Limited. – 2023. – 60 p. (In Russ.)

2. Mischenko A.L., Sukhanova O.V. LONG-TERM MONITORING OF NESTING DUCKS IN THE VINOGRADOVO BASIN OF THE MOSCOW RIVER. // Russian ornithological journal. – 2021. – Vol. 30. – Express-issue № 2031. – PP. 556-557. (In Russ.)

3. Zheleznova T.K., Artyukhov M.Yu. Ecological structure of autumn residential avicomplexes in the southern Moscow region. // Penza: News of higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences. – 2026. – № 1 – PP. 20-30. (In Russ.)

УДК 59.006: 599.742.5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОЛЬФАКТОРНОГО ОБОГАЩЕНИЯ СРЕДЫ НА ПОВЕДЕНИЕ СУРИКАТ *SURICATA SURICATTA* SCHREBER, 1776 В МОСКОВСКОМ ЗООПАРКЕ

Елисеенко Виктория Игоревна, *обучающаяся института зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, vikaeliseenko777@gmail.com*
Царёв Игорь Ильич*, начальник отдела «Копытные», ГАУ «Московский зоопарк», zoopark@culture.mos.ru*
Веселова Наталья Александровна, *к.б.н., доцент, старший научный сотрудник музея, научно-экспозиционный отдел, ГБУК г. Москвы «Государственный биологический музей имени К. А. Тимирязева», veselova_n.a@mail.ru*

Аннотация: *В настоящей работе представлены результаты исследования влияния ольфакторного обогащения среды на поведение сурикат Suricata suricatta в Московском зоопарке. Изучаемыми показателями были динамика основных форм поведения животных и количество этих форм. Показано, что внесение новых запахов в среду сурикат положительно сказывается на их активности. Полученные результаты могут быть использованы в качестве практических рекомендаций в работе зоопарков для повышения уровня благополучия животных.*

Ключевые слова: *сурикаты, Suricata suricatta, ольфакторное обогащение среды, поведение, благополучие животных, зоопарк.*

Современные подходы к сохранению биоразнообразия предполагают исследования как в природной, так и в искусственной среде. В условиях вольерного содержания легче проводить мониторинг как физиологического, так и психологического состояния животных и их патологий. Научные исследования в зоопарках направлены на повышение уровня благополучия видов путём совершенствования условий их содержания и снижения уровня стереотипного поведения [1–2].

Суриката *Suricata suricatta* Schreber, 1776 – широко экспонируемый вид во многих зоопарках России и мира. Он входит в отряд Хищные Carnivora Bowdich, 1821 в составе семейства Мангустовые Herpestidae Bonaparte, 1845. Сурикаты являются социальными территориальными животными с чётко определённой иерархией в группе [3]. Химическая коммуникация и обонятельная рецепция имеют огромное значение в группе: зверьки опознают друг друга и делают территориальные метки [4].

В связи с вышесказанным, **целью** исследования стал анализ влияния различных способов ольфакторного обогащения среды на поведение сурикат *Suricata suricatta* в условиях Московского зоопарка.

Исследование проводили в период с июня по сентябрь 2025 года в течение 32 дней на базе ГАУ «Московский зоопарк». Объектами исследования стали 5 взрослых особей сурикат: 3 самки и 2 самца, среди которых есть доминантная особь. Для идентификации особей применяли метод мечения аэрозольной краской для животных «VetColor».

Сурикат содержали в павильоне «Животные Африки». Эксперимент проводили в застеклённом уличном вольере площадью 220 м² и глубиной 2,0–2,3 м.

Эксперимент состоял из 6 этапов по 3 последовательных периода в каждом: фоновые наблюдения, внесение обогащения среды и постобогащение. Исследование проводили с утра, в сухую погоду, в течение первых 2 часов после уборки вольера и кормления животных.

В качестве новых запаховых агентов растительного происхождения использовали сухие травы – мяту, верблюжью колючку и порошок куркумы, в качестве животного происхождения – шерсть такина *Budorcas taxicolor* Hodgson, 1850, экскременты дикдиков *Madoqua kirkii* Günther, 1880 и медоедов *Mellivora capensis* Schreber, 1776, а также солому из их вольеров.

Наблюдения вели методом временных срезов с интервалом в 30 секунд [5]. Мы анализировали следующие формы поведения животных: естественную активность, неактивное поведение, позы внимания, исследовательское поведение, патологическое поведение. Отдельно фиксировали время, когда животные были вне поля зрения [6].

В ходе проведения исследования и последующего анализа данных были получены следующие результаты.

До внесения ольфакторного обогащения среды доля активного поведения в бюджете времени животных составляла от 27,5% до 33,3%, неактивного – от 12,5% до 17,5%, исследовательского – от 10,2% до 12,3, патологического – от 8,6% до 13,3%.

При внесении в среду новых запаховых агентов растительного происхождения доли активного и исследовательского поведения в бюджете времени сурикат повысились и составляли 35,2%–40,4% и 13,5%–17,3% соответственно. Доли неактивного и патологического поведения, напротив, сократились до 9,5%–11,1% и 4,5%–6,8% соответственно.

При внесении в среду новых запаховых агентов животного происхождения доли активного и исследовательского поведения составляли 36,4%–40,7% и 14,6%–16,1% от общего бюджета времени животных соответственно. Вместе с тем доли неактивного и патологического поведения в бюджете времени сурикат занимали 10,1%–11,2% и 5,3%–7,8% соответственно.

В результате ольфакторного обогащения среды наибольший рост естественной активности наблюдался при внесении верблюжьей колючки (с 31,7% до 40,3%) и шерсти

такина (с 30,1% до 40,7%), наименьший – при использовании куркумы (с 33,3% до 35,2%).

Наибольшее снижение уровня патологической активности наблюдалось при внесении в вольер мяты (с 12,3% до 4,5%).

Наибольший рост исследовательского поведения сурикатов отмечался при использовании в качестве обогащения среды шерсти такина (с 10,8% до 16,1%).

Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем в практике зоопарков для создания оптимальных условий содержания сурикат и поддержания их благополучия.

Библиографический список

1. Непринцева, Е. С. Научная работа по оптимизации поведения млекопитающих в зоопарке / Е. С. Непринцева, И. П. Вощанова // Научная работа в зоопарках: материалы школы-семинара ЕАРАЗА. – Тверь, 2012. – С. 212–227.

2. Нестерова, О. П. Особенности содержания сурикатов в условиях зоопарка / О. П. Нестерова, Т. В. Кузнецова, Н. В. Мардарьева, А. С. Селина // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК: материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 20–21 октября 2015 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – С. 321–324.

3. Кудимова, Д. В. Сурикаты – милые земляные человечки / Д. В. Кудимова // В мире научных открытий: Материалы VII Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 14–15 марта 2023 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2023. – С. 4228–4232.

4. Smyth-Kabay, K. N. Maternal Androgens in Dominant Meerkats (*Suricata suricatta*) Reduce Juvenile Offspring Health and Survivorship / K. N. Smyth-Kabay, N. M. Caruso, A. C. Stonehill, T. H. Clutton-Brock, C. M. Drea // Ecology and Evolution. – 2024. – № 14 (11). – P. 2–10. doi: 10.1002/ece3.70600

5. Попов, С. В. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе / С. В. Попов, О. Г. Ильченко. – М.: Московский зоопарк, 2008. – 160 с.

6. Кашинина, Н. В. Поведение сурикат (*Suricata suricatta*) в Московском зоопарке / Н. В. Кашинина, Е. А. Куприкова // Научные исследования в зоологических парках. – 2013. – № 29. – С. 73–94.

УДК 598.11

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕХ СИНТОПИЧНЫХ ВИДОВ СКАЛЬНЫХ ЯЩЕРИЦ

Ерашкин Владимир Олегович, *аспирант кафедры зоологии и аквакультуры института зоотехнии и биологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, v.yerashkin@rgau-msha.ru*

Митина Анастасия Алексеевна, *обучающийся института зоотехнии и биологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, anastasiamitina208@gmail.com*

Страхова Елизавета Дмитриевна, *обучающийся института зоотехнии и биологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, lizastrahova33@gmail.com*

Андреева Ксения Игоревна, *обучающийся института зоотехнии и биологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, andreeva.34215@mail.ru*

Кондратова Татьяна Эдуардовна, *аспирант кафедры зоологии и аквакультуры института зоотехнии и биологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, t.kondratova@rgau-msha.ru*

Иволга Роман Александрович, *аспирант кафедры зоологии и аквакультуры института зоотехнии и биологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, romanivolga@rgau-msha.ru*

Научный руководитель: *Кидов Артем Александрович, д.б.н., заведующий кафедрой зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, kidov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Представлен сравнительный анализ репродуктивных параметров трех синтопичных видов рода Darevskia: ящерицы Аррибаса, артвинской ящерицы и аджарской ящерицы. Животных отлавливали в окрестностях озера Эрцо в Южной Осетии. По результатам исследования нами выявлены различные репродуктивные стратегии у исследуемых видов: аджарская ящерица откладывает наиболее крупные яйца, из которых вылупляется и довольно крупная молодь, однако число яиц сильно занижено, при этом артвинская ящерица отличается максимальнгй плодовитостью, но при этом минимальным размером молоди. Ящерица Аррибаса может демонстрировать промежуточную стратегию.*

Ключевые слова: пресмыкающиеся, стратегии жизненного цикла, репродуктивная биология, *Darevskia*

Изучение репродуктивных характеристик различных видов необходимо для понимания их потенциальной экологической пластичности, что особенно актуально для стенобионтных и узкоареальных таксонов в изменяющихся условиях среды [3]. Вариативность данных характеристик формирует уникальную репродуктивную стратегию вида или популяции, суть которых заключается в компромиссах распределения ресурсов. Преобладание затрат ресурсов на один аспект жизни приводит к меньшим затратам на другой, в итоге формируя уникальную стратегию, направленную на максимальную выживаемость в определенных условиях среды [4]. Ящерицы рода *Darevskia* Arribas, 1999 являются популярными объектами молекулярно-генетических, филогеографических и эволюционных исследований [1, 2], однако работ по репродуктивной биологии данных видов, в частности в сравнительном аспекте, на порядок меньше. В исследовании было задействовано три вида скальных ящериц рода *Darevskia*: ящерица Аррибаса (*Darevskia arribasi*), артвинская ящерица (*D. derjugini*) и аджарская ящерица (*D. mixta*), обитающих совместно в окрестностях озера Эрцо в Южной Осетии.

Для анализа особенностей репродуктивной биологии были выбраны следующие параметры: длина тела и масса самки после откладки яиц, длина, ширина, масса яйца и объем яйца, объем и масса кладки, длина тела и масса молоди после вылупления.

Привезенных из природы беременных самок со следами покусов от спаривания рассаживали индивидуально в полипропиленовые контейнеры. Контейнеры осматривали ежедневно на предмет отложенных яиц.

При обнаружении кладки измеряли длину тела самки электронным штангенциркулем с точностью 0,01 мм, а также массу электронными весами с точностью 0,01 г. Далее проводили измерения длины, ширины и массы яиц. Инкубацию яиц осуществляли в пластиковых лотках с вентиляцией, заполненных увлажненным кокосовым субстратом, в инкубационном аппарате при температуре 28–29 °C. Вылупившейся молоди измеряли длину дела, хвоста, а также массу.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли при помощи пакета программ Microsoft Excel и Past 4.03. Рассчитывали среднюю арифметическую и стандартное отклонение (M±SD), а также размах признаков (min–max). Объем яиц рассчитывали по формуле:

$$V = \frac{4}{3}\pi\frac{a}{2}\left(\frac{b}{2}\right)^2,$$

где a – длина яйца, b – ширина яйца.

Для оценки статистической значимости наблюдаемых различий в группе признаков был использован однофакторный дисперсионный анализ ANOVA, для апостериорного сравнения воспользовались тестом Тьюки (Q-value). Взаимосвязь между признаками определяли с помощью расчета коэффициента корреляции Пирсона.

По итогу исследования были описаны следующие репродуктивные характеристики всех трех видов (таблица 1).

Таблица 1

Сравнение репродуктивных показателей трех исследуемых видов рода *Darevskia*

Показатель		*D. arribasi*		*D. derjugini*		*D. mixta*		df	F	p-level
		n	M±SD min–max	n	M±SD min–max	n	M±SD min–max			
Размерно-весовые	Длина самки, мм	5	60,76±3,103 56,44-64,29	9	53,13±5,3815 47,12-62,39	20	59,39±2,415 55,84-64,34	2,31	**11,77**	**<0,001**
	Масса самки, г	5	2,74±0,526 2,14-3,32	9	2,29±0,436 1,7-2,94	20	2,43±0,233 1,94-2,79	2,31	2,81	>0,05
Количество яиц в кладке, шт.		5	3,4±0,894 2-4	9	4,555±1,810 2-7	20	2,45±0,510 2-3	2,31	**12,58**	**<0,001**
Размерно-весовые показатели яиц	Длина яйца, мм	17	12,30±0,737 11,46-14,38	37	9,81±0,873 8-12,39	48	13,50±0,797 11,96-15,5	2,99	**214,5**	**<0,001**
	Ширина яйца, мм	17	6,73±0,344 5,96-7,34	37	5,96±0,366 5,01-6,52	48	6,485±0,384 5,62-7,23	2,99	**32,51**	**<0,001**
	Масса яйца, г	17	0,37±0,048 0,33-0,46	37	0,22±0,0315 0,17-0,32	48	0,38±0,062 0,23-0,57	2,99	**109,6**	**<0,001**
	Объём яйца	17	291,91±26,422 243,48-349,34	37	183,998±32,783 105,14-271,57	48	298,15±37,989 212,84-399,88	2,99	**125,8**	**<0,001**
Сохранность кладок, %		5	100,00	7	77,78	14	65,00	-	-	-
Сохранность яиц в кладках, %		5	100±0 100-100	7	84,59±16,245 60-100	13	85,90±23,419 33,33-100	2,22	1,153	>0,05
Длительность инкубации, сутки		17	32,12±1,996 30-35	29	33,24±1,596 30-36	29	43,45±2,861 37-50	2,72	**199,7**	**<0,001**
Размерно-весовые	Длина тела, мм	17	26,67±1,476 23,4-29,1	29	22,67±1,305 19,43-25,17	29	25,90±1,190 23,46-29,98	2,72	**66,62**	**<0,001**
	Масса, г	17	0,45±0,051 0,38-0,53	29	0,29±0,044 0,17-0,4	29	0,38±0,046 0,29-0,47	2,72	**64,11**	**<0,001**

Самым ранними сроками откладки яиц характеризовалась артвинская ящерица, у которой наибольшее число кладок было отложено во вторую и третью декады мая. Самки аджарской ящерицы откладывали яйца с первой по вторую декаду июня. У ящерицы Аррибаса все кладки были совершены во вторую декаду июля. Значительно меньшими размерами тела

при откладке яиц характеризовались самки артвинской ящерицы в то время, как самки ящерицы Аррибаса обладали наибольшими размерами, но не значительно превосходили самок аджарской ящерицы. При этом плодовитость артвинской ящерицы была наибольшей (до 7 яиц). Меньше всего яиц откладывали самки аджарской ящерицы (от 2 до 3). Значительно более крупными яйцами при откладке отличалась аджарская ящерица. Наименьшими значениями размерно-весовых параметров яиц обладала артвинская ящерица. Ящерица Аррибаса также откладывала довольно крупные яйца, которые по некоторым параметрам были сопоставимы с таковыми у аджарской ящерицы. Несмотря на более крупный размер яиц в кладке, у аджарской ящерицы объем всей кладки был наименьшим, а наибольшим – у ящерицы Аррибаса, тем не менее статистически значимых отличий по данному параметру не было выявлено. Длительность инкубации яиц аджарской ящерицы значительно превосходила таковую у артвинской ящерицы и ящерицы Аррибаса и варьировалась в пределах от 37 до 50 суток, при том, что у артвинской ящерицы и ящерицы Аррибаса период эмбрионального развития не превышал 36 и 35 суток соответственно. Размер молоди при вылуплении был наибольшим у ящерицы Аррибаса, в то время как артвинская ящерица характеризовалась значимо меньшими размерно-весовыми показателями молоди.

У исследуемых видов отмечена тенденция по уменьшению размеров яиц при увеличении плодовитости ($r=-0,71$; $p<0,05$ для ящерицы Аррибаса, $r=-0,65$; $p<0,05$ для артвинской ящерицы, $r=-0,25$; $p>0,05$ для аджарской ящерицы), при этом отмечается прямая зависимость увеличения массы молоди при вылуплении из более крупных яиц ($r=0,81$; $p>0,05$ для ящерицы Аррибаса, $r=0,96$; $p<0,001$ для артвинской ящерицы, $r=0,20$; $p>0,05$ для аджарской ящерицы). Данная тенденция может указывать на компенсаторный механизм, который помогает распределять ресурсы между размером молоди и ее количеством [5].

Таким образом, исследуемые виды характеризуются различными репродуктивными стратегиями. Аджарская ящерица отличается от артвинской ящерицы и ящерицы Аррибаса более крупными яйцами и довольно крупной молодью, однако число яиц сильно занижено. Артвинская ящерица, наоборот, характеризуется максимально плодовитостью, но при этом минимальным размером молоди. Ящерица Аррибаса может демонстрировать промежуточную стратегию, откладывая среднее число яиц, однако благодаря крупному размеру размножающихся самок, размер яиц и молоди сопоставим с таковыми у аджарской ящерицы.

Библиографический список

1. Arakelyan, M. Evolution of parthenogenetic reproduction in Caucasian rock lizards: a review / M. Arakelyan, V. Spangenberg, V. Petrosyan, A. Ryskov, O. Kolomiets , E. Galoyan // Current Zoology. – 2023. – Vol. 69, no. 2. – P. 128–135.
2. Arribas, O. Revising the taxonomy of *Darevskia valentini* (Boettger, 1892) and *Darevskia rudis* (Bedriaga, 1886) (Squamata, Lacertidae): a morpho-phylogenetic integrated study in a complex Anatolian scenario / O. Arribas, K. Candan, P. Kornilios, D. Ayaz, Y. Kumlutaş, S. Gül, C. Yilmaz, E. Yildirim Caynak, Ç. Ilgaz // Zootaxa. – 2022. – Vol. 5224, no. 1. – P. 1–68.
3. Healy, K. Animal life history is shaped by the pace of life and the distribution of age-specific mortality and reproduction / K. Healy, T.H. Ezard, O.R. Jones, R. Salguero-Gómez, Y.M. Buckley // Nature ecology & evolution. – 2019. – Vol. 3, no. 8. – P. 1217–1224.
4. Tinkle, D.W. Evolutionary strategies in lizard reproduction / D.W. Tinkle, H.M. Wilbur, S.G. Tilley // Evolution. – 1970. – P. 55–74.
5. Uller, T. Offspring size and timing of hatching determine survival and reproductive output in a lizard / T. Uller, M. Olsson // Oecologia. – 2010. – Vol. 162, no. 3. – P. 663–671.

УДК 591.16:597.8

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ САХАЛИНСКОЙ ЖАБЫ (*BUFO SACHALINENSIS*) В ГРАДИЕНТЕ УРБАНИЗАЦИИ

Иволга Роман Александрович, *ассистент кафедры зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, romanivolga@rgau-msha.ru*
Кондратова Татьяна Эдуардовна, *ассистент кафедры зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, t.kondratova@rgau-msha.ru*
Подольский Иван Андреевич, *обучающийся кафедры зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, ipodolskiy@mail.ru*
Шахина Юлия Евгеньевна, *обучающийся кафедры зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева*
Матушкина Ксения Андреевна, *к.б.н., доцент кафедры зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева*

Научный руководитель: Кидов Артем Александрович, *д.б.н., заведующий кафедрой зоологии и аквакультуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, kidov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *В работе представлены результаты изучения морфометрической изменчивости B. sachalinensis в градиенте урбанизации. Авторами исследования не было обнаружено фенотипических изменений форм тела, но было отмечено уменьшение изометрического размера тела в градиенте урбанизации. Приводятся гипотезы наблюдаемой морфометрической изменчивости B. sachalinensis.*

Ключевые слова: *бесхвостые земноводные, размеры тела, форма тела, Дальний Восток, Северная Евразия.*

Возрастающая антропогенная нагрузка и глобальное изменение климата привели к тому, что почти треть земноводных находятся под угрозой исчезновения, а численность остальных повсеместно сокращается [1]. Площадь городских территорий стремительно увеличивается, представляя собой одну из наиболее быстрорастущих форм антропогенного преобразования среды. Изменения окружающей среды, вызванные урбанизацией, могут влиять на приспособленность отдельных особей [2, 3], следовательно, урбанизация может оказывать селективное давление, вызывающее фенотипические изменения у видов, обитающих в городской среде [4].

Городская среда характеризуется уникальными экологическими факторами. Эффект «островов тепла» ведет к уменьшению размеров тела эктотермных организмов за счет увеличения их метаболизма [5]. Структура среды обитания в городских условиях фрагментирована, а подходящие места обитания зачастую изолированы друг от друга искусственными преградами, что приводит к морфологическим изменениям конечностей земноводных [6]. Видовой состав городской среды претерпевает изменения, поэтому давление хищников и доступность пищи часто отличаются от тех, что наблюдаются в естественных популяциях [7], из-за чего фенотипические особенности земноводных, направленные на защиту от хищников, могут различаться в городских и естественных популяциях [6, 8]. Хотя было проведено несколько исследований, посвященных влиянию урбанизации на земноводных, потенциальное воздействие урбанизации на фенотипические признаки амфибий по-прежнему в значительной степени неизвестно.

В данной работе мы исследовали морфологические признаки сахалинских жаб в локалитетах с разной интенсивностью урбанизации, чтобы оценить влияние городской среды. Мы выдвинули гипотезу о том, что размер тела и форма тела (относительные длина тела, размеры паротид и длина ног) жаб будут направленно изменяться в соответствии с градиентом урбанизации, поскольку городские популяции могут подвергаться специфическим для городской среды факторам: эффекту «островов тепла», измененному хищническому давлению, фрагментации и изоляции среды обитания. Выявление фенотипических реакций морфологических признаков на урбанизацию может помочь понять возможные эволюционные последствия урбанизации для земноводных.

Материал и методы. Материалом для исследования послужили 371 половозрелая особь *B. sachalinensis* (151 самка и 220 самцов) из 7 локалитетов, отловленных в период с 2021 по 2025 гг. (табл. 1). У отловленных во время полевых экспедиций *B. sachalinensis* электронным штангенциркулем (погрешность 0,1 мм) прижизненно измеряли длину тела, длину и ширину околоушной железы, длину бедра и длину голени по стандартной методике [9]. После измерения морфометрических промеров всех животных выпускали в месте поимки в течение суток.

Таблица 1

Собственные места сбора и объем исследованного материала

Регион	Локалитет	Северная широта	Восточная долгота	Высота над уровнем моря	Половая принадлежность	n
Приморский край	Трудовое	43°18'32"	132°05'05"	10	самки	10
					самцы	53
	Лесной Кордон	43°38'14"	132°33'14"	147	самки	22
					самцы	65
	Терней	45°02'53"	136°37'06"	3	самки	23
					самцы	37
Сахалинская область	Южно-Сахалинск	46°56'15"	142°48'05"	240	самки	48
					самцы	18
	Пионеры	47°16'07"	142°00'52"	6	самки	9
					самцы	13
	Анива	46°43'30"	142°31'20"	1	самки	25
					самцы	17
	Биостанция «Анива»	46°01'11"	142°10'06"	4	самки	14
					самцы	17

Для уменьшения эффекта мультиколлинеарности переменных и изучения размера и пропорций тела мы разделили каждое морфометрическое измерение на геометрическое среднее размеров тела особи (SIZE: рассчитывается как корень 5-ой степени произведения 5 морфометрических признаков) и получили SIZE-скорректированные значения форм тела [10]. После чего преобразовали полученные SIZE-скорректированные значения в логарифмическую форму для повышения гомогенности и нормальности распределения выборки. Гипотезы о нормальности и гомогенности распределения выборок проверяли критериями Лиллиефорса и Левена. Для всех анализов использовали только SIZE-скорректированные и log-трансформированные формы тела. Однофакторный дисперсионный анализ использовали для определения наличия морфометрических различий жаб из разных локалитетов. Для оценки географической изменчивости морфометрических признаков использовали анализ главных компонент (PCA), основанный на корреляционной матрице. Влияние урбанизации на морфометрическую изменчивость *B. sachalinensis* оценивали с помощью взаимосвязи распределения *B. sachalinensis* в пространстве главных компонент (PC) и log(SIZE) в градиенте урбанизации.

Результаты и обсуждение. Самки и самцы из разных популяций различались как по log-трансформированному SIZE, так и по всем SIZE-скорректированным и log-

трансформированным морфометрическим признакам (табл. 2, 3). Анализ главных компонент выявил две значимые компоненты для самок и самцов, которые объясняли 71,85% и 71,23% дисперсии особей по SIZE-скорректированным формам тела соответственно. Относительные длина тела, длина бедра и длина голени были связаны с PC1 ($r > 0,5$; $p < 0,05$), а форма околоушных желез с PC2 ($r > 0,5$; $p < 0,05$). Распределение самок и самцов в пространстве главных компонент не было связано с урбанизацией (для самок PC1; $r = 0,03$, $p > 0,05$ и PC2; $r = 0,20$, $p > 0,05$; для самцов PC1; $r = -0,03$, $p > 0,05$ и PC2; $r = 0,12$, $p > 0,05$). Однако общий размер тела (SIZE) уменьшался в градиенте урбанизации как у самок ($r = -0,30$, $p < 0,05$), так и у самцов ($r = -0,42$, $p < 0,05$).

Вопреки нашим ожиданиям, нами не было обнаружено фенотипических изменений форм тела. Возможно, в изученных локалитетах градиент хищничества и фрагментации среды оказался слишком слабым, чтобы вызвать морфологический сдвиг, из-за чего форма тела остается консервативной под давлением урбанизации. Однако, нами было отмечено уменьшение изометрического размера тела в градиенте урбанизации. Вероятно, наблюдаемая нами закономерность уменьшения размеров тела связана с эффектом «островов тепла», которые повышают метаболизм эктотермных организмов [5], из-за чего те адаптивно уменьшаются в размерах тела. Кроме того, данная закономерность может быть объяснена отличиями в пищевой базе в градиенте урбанизации. Урбанизация может снижать численность многих наземных членистоногих [11, 12], что также может вести к уменьшению размеров тела жаб.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке некоммерческого благотворительного фонда "Поддержка биологических исследований "БИОМ" (проект № 6/2025-гр от 31 марта 2025 года).

Библиографический список

1. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K. et al. Ongoing declines for the world’s amphibians in the face of emerging threats // Nature. 2023. V. 622, № 7982. P. 308–314. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4

2. Степанкова И.В., Африн К.А., Иволга Р.А. и др. Репродуктивная характеристика обыкновенного тритона, *Lissotriton vulgaris* (Linnaeus, 1758) в "старой" и "новой" Москве // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57, № 1. С. 170–175.

3. Степанкова И.В., Африн К.А., Саитов В.Р. и др. Возрастная структура, рост и плодовитость травяной лягушки (*Rana temporaria*, Amphibia, Anura, Ranidae) в популяциях города Москвы // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2024. № 1(73). С. 71–82. https://doi.org/10.26456/vtbio346

4. Beninde J., Veith M., Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intraurban biodiversity variation // Ecology Letters. 2015. V. 18, № 16. P. 581–592. https://doi.org/10.1111/ele.12427

5. Merckx T., Souffreau C., Kaiser A. et al. Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities // Nature. 2018. V. 558, № 7708. P. 113–116. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0140-0

6. Komine H., Yasumiba K., Schwarzkopf L. The country toad and the city toad: comparing morphology of invasive cane toads (*Rhinella marina*) from rural and urban environments // Biological Journal of the Linnean Society. 2022. V. 137. P. 450–464. https://doi.org/10.1093/biolinnean/blac100

7. McDonnell M.J., Hahs A.K. Adaptation and adaptedness of organisms to urban environments // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2015. V. 46. P. 261–280. https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ECOLSYS-112414-054258

8. Bókony V., Üveges B., Verebélyi V. et al. Toads phenotypically adjust their chemical defences to anthropogenic habitat change // Scientific Reports. 2019. V. 9, № 1. Article number: 3163. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39587-3

9. Банников А.Г., Даревский И.С., Ищенко В.Г. и др. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР. Москва: Просвещение, 1977. 415 с.

10. Mosimann J.E. Size and shape variables with characterizations of the lognormal and generalized gamma distributions // Journal of the American Statistical Association. 1970. V. 65, № 330. P. 930–945. https://doi.org/10.1080/01621459.1970.10481136

11. Fenoglio M.S., Calviño A., González E. et al. Urbanisation drivers and underlying mechanisms of terrestrial insect diversity loss in cities // Ecological Entomology. 2021. V. 46. P. 757–771.

12. Fenoglio M.S., Rossetti M.R., Videla M. Negative effects of urbanization on terrestrial arthropod communities: a meta-analysis // Global Ecology and Biogeography. 2020. V. 29. P. 1412–1429. https://doi.org/10.1111/GEB.13107

УДК 59.084:597.841

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ НА ЛИЧИНОЧНОЕ РАЗВИТИЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ЖАБЫ, *BUFO SACHALINENSIS* В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

***Кондратова Татьяна Эдуардовна**, ассистент кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, t.kondratova@rgau-msha.ru*
***Иволга Роман Александрович**, ассистент кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, romanivolga@rgau-msha.ru*
***Черненко Татьяна Александровна**, обучающийся кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, tanyshca.ch@yandex.ru*
***Зудилина Анастасия Андреевна**, обучающийся кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, anastasiaZAA04@yandex.ru*
***Ерашкин Владимир Олегович**, аспирант кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, v.erashkin@mail.ru*

***Научный руководитель: Кидов Артем Александрович,** д.б.н., профессор, заведующий кафедрой зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kidov@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Работа посвящена изучению влияния начальной плотности посадки на личиночное развитие дальневосточной жабы (Bufo sachalinensis) в искусственно созданной среде обитания. Было экспериментально установлено, что при увеличении плотности уменьшались размеры и масса молоди на метаморфозе, повышалась общая длительность личиночного развития, но выживаемость не изменялась. Авторы рекомендуют для получения наиболее крупной молоди за максимально короткие сроки в лабораторных условиях использовать плотность посадки 1,0 экз./л и 82,4 экз./м^2.*

***Ключевые слова:** зоокультура, Bufonidae, Anura, лабораторное выращивание*

Дальневосточная жаба, *Bufo sachalinensis* Nikolskii, 1905 широко распространена в северо-восточной Азии (Корейский полуостров, Приморье, бассейн Амура и Сахалин), где в лесных биотопах может являться наиболее массовым видом амфибий [1]. Несмотря на то, что на сегодняшний день *B. sachalinensis* не относят к видам, находящимся под угрозой исчезновения, в последние десятилетия отмечено повсеместное снижение числа особей и видового разнообразия земноводных [2]. Очевидно, что уже сейчас необходимо разрабатывать методики выращивания и разведения бесхвостых земноводных, которые в перспективе могут быть использованы для их сохранения.

Для ряда представителей Bufonidae Gray, 1825 были разработаны методики лабораторного воспроизводства, произведена оценка эффективности использования различных кормов при их выращивании [3]. В то же время, очевидно, что для создания

технологий культивирования жаб разных видов в искусственно созданной среде обитания необходимо установить оптимальные значения основных факторов, влияющих на рост, развитие и выживаемость молоди.

Начальная плотность посадки является одним из важнейших факторов, обусловливающих рост, длительность развития и выживаемость личинок земноводных [4 – 6]. Увеличение числа особей в группе повышает конкуренцию за ресурсы [7]. Также важное значение имеет метаболический фон, создаваемый в результате жизнедеятельности личинок, при этом его действие на личиночное развитие неоднозначно [7]. Установление влияния плотности посадки на показатели личиночного развития (выживаемость и длительность развития до метаморфоза, размеры при выходе на сушу) является актуальной задачей для последующей разработки технологии культивирования земноводных [3].

Материал и методы. Материалом для исследований послужили личинки дальневосточной жабы, полученные от лабораторного размножения взрослых особей, отловленных в окрестностях г. Южно-Сахалинск. Для определения оптимальной начальной плотности посадки личинок после начала экзогенного питания рассаживали в наполненные отстоянной водой контейнеры двух размеров. Таким образом, оба типа контейнеров имели равную площадь дна (1092 $см^2$), но разный уровень водного столба (14 и 28 см соответственно), что позволяло добиваться разной плотности посадки животных на единицу площади при равной плотности на единицу объёма и наоборот. Температура воды в период исследований колебалась в пределах 19,0 – 22,5°С. Личинок ежедневно кормили вволю хлопьевидными полнорационными кормами для рыб «TetraMin Flakes» (производитель – Tetra GmbH, Германия). Замену 2/3 объёма воды на отстоянную водопроводную того же состава осуществляли через день. После выхода молодых жаб на сушу (46 стадия по таблице нормального развития Госнера) у них измеряли длину и массу тела. Статистическую обработку полученных данных выполняли в программе Statistica.

Результаты и обсуждение. После использования длительности личиночного развития в качестве ковариаты, длина тела выходящих на сушу молодых жаб статистически значимо различалась в группах с разной начальной плотностью посадки ($F_{7, 366} = 80,884$; $p < 0,05$) (табл. 1). Наблюдалась отрицательная корреляция длины тела выходящей на сушу молоди с начальной плотностью посадки личинок на объём воды ($r_p = -0,57$, $p < 0,05$) и на площадь дна ($r_p = -0,66$, $p < 0,05$). Наиболее крупные особи развивались при выращивании с минимальной начальной плотностью посадки, а самые мелкие – с самой высокой плотностью. Статистически значимая корреляция между продолжительностью личиночного развития и длиной тела молоди была отмечена в группах 2 ($r_s = -0,55$, $p < 0,05$), 3 ($r_s = -0,37$, $p < 0,05$), 4 ($r_s = -0,66$, $p < 0,05$), 5 ($r_s = -0,50$, $p < 0,05$) и 8 ($r_s = -0,37$, $p < 0,05$).

Таблица 1

Показатели личиночного развития *Bufo sachalinensis* при различной плотности посадки

Номер группы	Плотность посадки		M±SD min–max			Выживаемость, %
	экз./л	экз./$м^2$	Длина тела (L) при выходе на сушу, мм	Масса тела (m) при выходе на сушу, г	Длительность личиночного развития, сутки	
1	0,5	82,4	11,18±0,559 10,26–12,22	0,133±0,0192 0,106–0,172	23±0,97 22–25	100,0±0,00 100,0–100,0
2	1	82,4	10,96±0,552 10,18–12,30	0,129±0,0185 0,106–0,169	24±2,1 22–30	88,9±0,00 88,9–88,9

3	1	164,8	9,89±0,570 8,87–11,32	0,088±0,011 0 0,069–0,116	25±1,4 23–31	97,2±3,96 94,4–100,0
4	1,5	247,3	9,16±0,511 7,86–10,46	0,069±0,009 7 0,050–0,089	27±3,9 24–49	96,3±0,00 96,3–96,3
5	2	164,8	9,50±0,479 8,33–10,19	0,081±0,014 2 0,048–0,110	26±1,2 24–29	97,2±3,96 94,4–100,0
6	2	329,6	8,59±0,589 7,70–11,06	0,056±0,013 9 0,035–0,130	28±3,7 24–42	87,5±1,98 86,1–88,9
7	3	247,3	9,18±0,504 8,02–10,09	0,070±0,009 8 0,054–0,092	28±2,9 24–42	100,0±0,00 100,0–100,0
8	3	494,5	8,44±0,759 7,13–11,25	0,053±0,013 5 0,031–0,104	39±9,6 26–66	94,5±2,6 92,6–96,3
Статистический анализ	F		80,884	146,935	56,074	–
	df		7, 366	7, 366	7, 367	–
	p		< 0,05	< 0,05	< 0,05	–
	апостериорные тесты		$1^{а}$, $2^{а}$, $3^{б}$, $4^{в}$, $5^{бв}$, $6^{г}$, $7^{в}$, $8^{д}$	$1^{а}$, $2^{а}$, $3^{б}$, $4^{в}$, $5^{б}$, $6^{г}$, $7^{в}$, $8^{д}$	$1^{в}$, $2^{бв}$, $3^{бв}$, $4^{бв}$, $5^{бв}$, $6^{б}$, $7^{бв}$, $8^{а}$	–

Примечание: M – среднее арифметическое, SD – стандартное отклонение, min – минимум, max – максимум, F – сила фактора, df – количество степеней свободы. Группы с разными верхними индексами достоверно различаются ($p \leq 0,05$; а > б > в > г > д). Апостериорные тесты для длины и массы тела производили с поправкой на длительность личиночного развития.

С поправкой на длительность личиночного развития, масса тела выходящих на сушу особей также достоверно различалась в группах с разной плотностью посадки ($F_{7, 366} = 146,935$; $p < 0,05$). Наблюдалась отрицательная корреляция массы тела выходящей на сушу молоди с начальной плотностью посадки личинок на объём воды ($r_p = -0,49$, $p < 0,05$) и на площадь дна ($r_p = -0,55$, $p < 0,05$). Наибольшую среднюю массу тела имели особи из групп, где была наименьшая начальная плотность посадки, а самую маленькую – из групп, где была самая высокая плотность (табл. 1). Статистически значимая корреляция между продолжительностью личиночного развития и массой тела молоди при выходе на сушу была отмечена в группах 3 ($r_s = -0,41$, $p < 0,05$), 4 ($r_s = -0,48$, $p < 0,05$), 5 ($r_s = -0,66$, $p < 0,05$), 6 ($r_s = -0,30$, $p < 0,05$) и 8 ($r_s = 0,45$, $p < 0,05$).

Длительность личиночного развития различалась у разных групп статистически значимо ($F_{7, 367} = 56,074$; $p < 0,05$). Наименьшей средней продолжительностью развития характеризовались животные из групп с наименьшей плотностью посадки (табл. 1). С повышением плотности как на объём воды ($r_p = 0,61$, $p < 0,05$), так и на площадь дна ($r_p = 0,83$, $p < 0,05$), длительность личиночного развития увеличивалась.

Выживаемость в разных экспериментальных группах была высокой (87,5 – 100%). Наименьшая выживаемость была отмечена в 6 опытной группе (87,5%), наибольшая наблюдалась в 1 и 7 опытных группах (100%). Выживаемость не изменялась в зависимости от начальной плотности посадки личинок.

В целом, при увеличении начальной плотности посадки уменьшались размеры и масса личинок, повышалась длительность личиночного развития, а выживаемость – не изменялась. В более ранних работах, направленных на определение влияния начальной плотности посадки

на личиночное развитие других видов жаб рода *Bufo* Garsault, 1764, были отмечены схожие тенденции [5, 6].

Ранее отмечалось [4, 7], что в группах с высокой плотностью посадки экзометаболиты, выделяемые личинками в воду, замедляют рост и развитие особей, что, вероятно, и является причиной наблюдаемых нами явлений. Было также установлено [7], что отдельные личинки, демонстрирующие наиболее активный рост, тормозят развитие конспецификов за счёт выделяемых в воду веществ. Предполагается, что это внутрипопуляционный механизм регуляции численности амфибий, способствующий поддержанию разнородности популяции путем формирования физиологически неоднородной генерации животных [7]. Торможение крупными головастиками развития более мелких экологически более выгодно, так как обеспечивает выживание популяции за счет наиболее быстро развивающихся особей [7]. Все вышеперечисленное может проявляться в следующем: более крупные особи, как по длине, так и по массе тела, заканчивают развитие раньше, а пролонгированное развитие остальных личинок не приводит к увеличению их размеров, что и было выявлено нами для личинок *B. sachalinensis.*

По результатам проведенных исследований, мы можем рекомендовать для получения наиболее крупной молоди *B. sachalinenesis* за максимально короткие сроки выращивать личинок при начальной плотности посадки 1,0 экз./л и 82,4 экз./м^2. Дальнейшее повышение количества личинок в группе приводит к значимому снижению размерных показателей и более длительному развитию.

Библиографический список

1. Othman, S.N. et al. From Gondwana to the Yellow Sea, evolutionary diversifications of true toads *Bufo* sp. in the Eastern Palearctic and a revisit of species boundaries for Asian lineages / S.N. Othman, S.N. Leetvinchuk, I. Maslova, H. Dahn, K.R. Messenger et al. // eLife. – 2022. – № 11. – Article number e70494.

2. Luedtke, J.A. et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats / J.A. Luedtke, J. Chanson, K. Neam, L. Hobin, A.O. Maciel et al. // Nature. – 2023. – № 622. – P. 308–314.

3. Кидов, А.А. и др. Пути повышения эффективности выращивания земноводных в искусственно созданной среде обитания / А.А. Кидов, Т.Э. Кондратова, Р.А. Иволга, В.О. Ерашкин, К.А. Африн и др. // Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий : Материалы XIV Всероссийской научной конференции с международным участием, Владикавказ, 13–18 мая 2023 года. Том 1. – Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова, 2023. – С. 103–112.

4. Кидов, А.А. и др. Влияние плотности посадки на личиночное развитие камышовой жабы (*Epidalea calamita*) (по результатам лабораторных исследований) / А.А. Кидов, Р.А. Иволга, Т.Э. Кондратова, О.С. Грода, В.В. Демянчик и др. // Теоретическая и прикладная экология. – 2024. – № 3. – С. 217–225.

5. Кидов, А.А. и др. Рост, развитие и выживаемость личинок кавказской жабы, *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) при различной плотности посадки в зоокультуре / Кидов А.А., Африн К.А., Степанкова И.В., Гориков А.А. // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57, № 1. – С. 164–169.

6. Кондратова, Т.Э. и др. Влияние начальной плотности посадки на личиночное развитие обыкновенной жабы (*Bufo Bufo*) в зоокультуре / Т.Э. Кондратова, М.А. Мотошина, Т.А. Черненко, Р.А. Иволга // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича : Сборник статей, Москва, 03–05 июня 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 150–153.

7. Шварц, С.С. Регуляторы роста и развития личинок земноводных. II. Разнообразие действия / С.С. Шварц, О.А. Пястолова // Экология. – 1970. – № 2. – С. 38–54.

УДК 636.085.13:597.8

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМНЕНИЯ КАРОТИНОИДОВ В КОРМЛЕНИИ ЗЕМНОВОДНЫХ

***Кучерова Анастасия Олеговна**, аспирант кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, a.kucherova@rgau-msha.ru*
***Какунина Ольга Сергеевна**, обучающийся института зоотехнии и биологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, dargal11@outlook.com*
***Кидова Елена Александровна**, инженер-лаборант кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, nemyko_e@mail.ru*

***Научный руководитель: Кидов Артем Александрович**, заведующий кафедрой зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kidov_@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** Исследовано влияние растительных и синтетических каротиноидов на окраску, рост и выживаемость тритона Ланца (Lissotriton lantzi (Wolterstorff, 1914)) и малоазиатской квакши (Hyla savignyi, (Audouin, 1827)). RGB-анализ показал – синтетические каротиноиды формируют оранжевую окраску у тритонов, тогда как растительные – жёлтую; у кваки сезонная динамика окраски не зависела от типа добавок. Значимого влияния на рост амфибий не выявлено.*

***Ключевые слова:** кормовые добавки, Amphibia, Caudata, Anura, RGB-анализ*

Каротиноиды представляют класс природных полиеновых пигментов, необходимых для функционирования всех биологических организмов. Они защищают мембраны живых клеток от разрушения активными формами кислорода, свободными радикалами при оксидативном стрессе. Эти соединения не синтезируются *de novo* в организме животных и должны поступать с пищей, что делает их важным ресурсом, в том числе влияющим на репродуктивный успех и межвидовую коммуникацию [6; 4].

У хвостатых земноводных каротиноиды накапливаются преимущественно в ксантофорах, определяя яркость и оттенок окраски – от бледно-желтого до ярко-оранжевого и красного [5; 7]. Данная окраска выполняет несколько функций: апосематическую сигнализацию, внутривидовую коммуникацию и половой отбор [1]. У бесхвостых земноводных (Anura) каротиноиды также участвуют в формировании окраски, однако механизмы их накопления и метаболизма могут существенно отличаться от таковых у хвостатых [3].

Современные исследования [9] демонстрируют, что различные источники каротиноидов могут оказывать неодинаковое влияние на физиологию амфибий. Растительные каротиноиды (β-каротин, лютеин, зеаксантин) представлены преимущественно в форме сложных эфиров и требуют ферментативной конверсии в организме [6]. Синтетические каротиноиды (искусственные аналоги астаксантина и кантаксантина), напротив, часто обладают более высокой биодоступностью и могут напрямую аккумулироваться в тканях [8]. Однако данные о сравнительной эффективности использования этих форм каратиноидов в питании земноводных крайне ограничены.

Цель данного исследования – оценка влияния растительных и синтетических каротиноидов на рост, выживаемость и окраску при включении в рацион двух видов амфибий.

Задачи:

1. Оценить влияние добавления каротиноидов на размерно-весовые показатели земноводных;
2. Охарактеризовать выживаемость животных;
3. Проанализировать изменения окраски под влиянием разных видов каротиноидов.

Материалы и методы. Объектами исследования стали рожденные в неволе молодые особи тритона Ланца (*Lissotriton lantzi* (Wolterstorff, 1914)) (разрешение на содержание и разведение в полувольных условиях и искусственно созданной среде обитания объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (тритон Ланца) №0271 действительно с 02.12.2021) и малоазиатской квакши (*Hyla savignyi* (Audouin, 1827)).

Животных делили на три группы: контрольную (тритоны питались личинками домового сверчка (*Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758)), первую опытную (в корм используемых домовых сверчков предварительно добавляли растительный каротиноид «Red Mix» (производитель – Kate's Geckos Lab, Россия)) и вторую опытную (в корм сверчком вносили синтетический каротиноид «Cantax+» (производитель – Coppens, Нидерланды)). В каждой группе амфибий выращивали в трехкратной повторности по 10 особей в каждой. Животных содержали по стандартной методике [10] в полипропиленовых контейнерах марки «Basic» (производитель – «Hoff», Россия) объемом 11 л для тритонов и 22 л для квакш. Контейнеры были оборудованы укрытиями, чашками Петри в качестве поилок и кормушками. Субстратом служили вискозные салфетки марки Eurohouse (производитель – «ЕвроХаус», Россия). У выращиваемой молоди ежемесячно измеряли длину тела электронным штангенциркулем с точностью 0,01 мм и массу с помощью электронных весов с точностью 0,01 г. Кормление насекомыми осуществляли через день, учитывая массу заданного и оставшегося корма. Перед скармливанием сверчков в избытке припудривали кормовым мелом.

В работе представлены результаты за 6 месяцев выращивания тритонов и квакш.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли при помощи пакета программ Microsoft Excel и PAST. Рассчитывали среднюю арифметическую и стандартное отклонение (M±SD), а также размах признаков (min-max). Для оценки статистической значимости наблюдаемых различий в группе признаков был использован непараметрический критерий Манна-Уитни (U-test). Для оценки относительной вариабельности признаков рассчитывали коэффициент вариации (CV) по формуле: $CV = (SD/M) \times 100\%$, где SD стандартное отклонение, M – среднее арифметическое. Количественная оценка окраски проведена методом RGB-анализа цифровых изображений с использованием программы ImageJ. Для каждой особи измеряли средние значения красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) компонентов.

Результаты и обсуждение. Через полгода выращивания не было выявлено статистически значимых различий по длине тела между контрольной и опытными группами как у тритона Ланца, так и у малоазиатской квакши. У квакш наблюдалась тенденция к несколько более высоким темпам линейного роста во второй опытной группе, однако различия не достигли статистической значимости (U-test, $p = 0,08$).

Наибольший абсолютный и относительный прирост массы для тритона Ланца наблюдался в контрольной группе, тогда как наименьший – во второй опытной группе. Подобные результаты согласуются с гипотезой ресурсного компромисса (resource trade-off hypothesis), согласно которой каротиноиды представляют собой ограниченный ресурс, перераспределяемый между пигментацией, антиоксидантной защитой и соматическим развитием [4]. У квакш наблюдалась иная динамика – тенденция к увеличению темпов набора массы была наиболее выражена в группе синтетических каротиноидов. Это может указывать на таксономические различия в метаболизме каротиноидов между хвостатыми и бесхвостыми земноводными. У бесхвостых синтетические каротиноиды, возможно, не столько участвуют в пигментации, сколько оказывают влияние на обмен веществ и усвояемость корма.

Молодь тритона Ланца на протяжении всего эксперимента демонстрировала высокую выживаемость (93,3%–контрольные группы; 90,7%–группы с растительным каротиноидом; 86,7% – группы с синтетическим каротиноидом). У малоазиатской квакши к 6 месяцу исследования выживаемость составила 33% для контрольной и первой опытной групп, и 40% для второй группы.

Брюшко у тритонов Ланца из контрольной группы имели бледный жёлтый оттенок, из второй опытной группы – визуально имело ярко-оранжевую окраску, тогда как животные из

первой опытной группы обладали ярко-желтым цветом брюшка. При этом, применение RGB-анализа окраски брюшной поверхности тритонов выявило сходные значения красного цвета (R) между первой опытной (149,2±13,54), второй опытной (120,6±14,74) и контрольной (119,3±10,65) группами. Данное явление объясняется значительно более низкими значениями зеленого компонента (G) в окраске брюшка тритонов из второй опытной группы, чем из первой и контрольной (соответственно 53,8±8,87 против 107,4±11,24 и 88,5±10,85; $p < 0,001$). что привело к существенно более высокому соотношению R/G (2,24 против 1,39 и 1,39; $p < 0,01$).

RGB-анализ окраски малоазиатской квакши за период эксперимента выявил другие особенности пигментации. В контрольной группе квакш наблюдалась выраженная сезонная изменчивость. Осенью (ноябрь) все компоненты были хорошо представлены (R = 125–138; G = 117–129; B = 106–112), зимой (декабрь – февраль) их значения повышаются (R =138–148; G = 125–139; B = 115–129), а к весне значительно снижаются (R = 104–124; G = 96–120, B = 92–116). Известно, что квакши изменяют свою окраску в зависимости от температуры, фотопериода и физиологического состояния [2], что статистически подтверждается полученными нами данными. Интересно, что у квакш в опытных группах такой динамики не наблюдалось, а животные имели схожую окраску в течение всего периода исследований: в первой опытной группе – R = 115–124; G = 107–122, B = 99–115; во второй опытной группе – R = 115–124; G = 98–112, B = 89–111. Таким образом, добавление каротиноидов препятствует сезонным изменениям окраски у малоазиатской квакши.

Можно предположить, что у хвостатых земноводных синтетические каротиноиды избирательно усиливают красно-оранжевый компонент, одновременно подавляя синтез или накопление желтых птеридинов, что приводит к снижению зеленого компонента и формированию оранжевой окраски. У квакш каротиноиды накапливаются совместно с другими пигментами (птеридины, меланины), что обеспечивает более сбалансированное изменение всех компонентов RGB без резких сдвигов в соотношении R/G.

Заключение. Таким образом, на начальных этапах выращивания добавление каратиноидов в корма амфибий не оказывает значимого влияния на рост и выживаемость, однако способствуют изменению окраски. У тритонов наиболее сильным эффектом в пигментации брюшка обладает синтетический каротиноид. У квакш применение каротиноидов в кормах смазывает сезонную динамику изменения окраски.

Библиографический список

1. Brenes-Soto A., Dierenfeld E.S. Colouration in amphibians as a reflection of nutritional status: the role of carotenoids and other pigments // Zoo Biology. 2022. Vol. 41, no. 3. P. 234–247. DOI: 10.1002/zoo.21689.

2. Degani G. Changes in tree frog (*Hyla savignyi*) coloration in unstable habitats at the southern border of its distribution // Open Journal of Animal Sciences. 2022. Vol. 12, no. 1. P. 68–75. DOI: 10.4236/ojas.2022.121005.

3. Edwards C.L., Skelton J., Brannelly L.A. et al. Dietary carotenoid supplementation enhances the cutaneous bacterial communities of the critically endangered southern corroboree frog // Microbial Ecology. 2019. Vol. 78, no. 4. P. 1008–1019. DOI: 10.1007/s00248-019-01367-y.

4. Hill G.E., Johnson J.D. The Vitamin A–Redox Hypothesis: a biochemical basis for honest signaling via carotenoid pigmentation // The American Naturalist. 2012. Vol. 180, no. 5. P. E127–E150. DOI: 10.1086/667861.

5. Kopecký O., Šichtař J. Sex differences in ventral side colouration of Alpine newts // Israel Journal of Ecology & Evolution. 2014. Vol. 60, no. 1–2. P. 58–64. DOI: 10.1080/15659801.2014.937078.

6. Maoka T. Carotenoids as natural functional pigments // Journal of Natural Medicines. 2020. Vol. 74, no. 1. P. 1–16. DOI: 10.1007/s11418-019-01363-3.

7. Matsui K., Takaichi S., Nakamura M. Morphological and biochemical changes in carotenoid granules in the ventral skin during growth of the Japanese newt *Cynops pyrrhogaster* // Zoological Science. 2003. Vol. 20, no. 4. P. 435–440. DOI: 10.2108/zsj.20.435.

8. Prokopius R.K., McGraw K.J., Catenazzi A. Fungal disease does not affect skin carotenoid concentrations in dietary-supplemented strawberry poison frogs // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. 2025. Vol. 279. Art. 111113. DOI: 10.1016/j.cbpb.2025.111113.

9. Risely A., Silla A.J., McInerney C.E. et al. Dietary carotenoid supplementation has long-term and community-wide effects on the amphibian skin microbiome // Molecular Ecology. 2024. Vol. 33, no. 2. Art. e17203. DOI: 10.1111/mec.17203.

10. Кидов А.А., Немыко Е.А. Размножение тритона Ланца, *Lissotriton lantzi* (Wolterstorff, 1914) в искусственных условиях // Современная герпетология. 2018. Т. 18, № 3/4. С. 125–134.

УДК 639.33

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ТРАНСПОРТНОГО СТРЕССА У ОБЫКНОВЕННОГО КАРПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДНОГО КОНДИЦИОНЕРА

***Лисовская Яна Владимировна**, аспирант кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, vet@yana-lisovskaya.ru*
***Кандыбин Антон Алексеевич**, аспирант кафедры зоологии и аквакультуры, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kandybin.anton@gmail.com*
***Акчурин Сергей Владимирович,** профессор кафедры ветеринарной медицины, д-р вет. наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, sakchurin@rgau-msha.ru*
***Бубунец Эдуард Владимирович**, профессор кафедры зоологии и аквакультуры, д-р с.-х. наук, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, bubunets@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** На обыкновенном карпе (Cyprinus carpio L.) применены портативные анализаторы для экспресс-оценки транспортного стресса. Кондиционер N_1 (1,25 мл/л) снизил аммиак на 97-98%, сохранив глюкозу в норме при двойной загрузке. Глюкоза крови и частота дыхания - надёжные маркеры стресса для оперативной корректировки перевозки.*

***Ключевые слова:** карп, транспортировка, стресс, глюкоза, аммиак, водные кондиционеры.*

Транспортировка живой рыбы в герметичных полиэтиленовых пакетах остаётся неотъемлемым технологическим этапом в товарной аквакультуре. В ограниченном объёме воды быстро накапливаются токсичные продукты метаболизма, прежде всего аммиак, вызывающий стресс и приводящий к значительным потерям поголовья [1].

При транспортировке крупных партий товарной рыбы остро встаёт вопрос оперативного контроля физиологического состояния особей. Классические гематологические и биохимические методики требуют значительных затрат времени и лабораторного оборудования, что затрудняет их применение в полевых условиях. В этой связи особую актуальность приобретают экспресс-маркеры стресса, позволяющие в течение нескольких минут оценить общее состояние перевозимой партии.

Глюкоза крови - один из наиболее быстрых и чувствительных маркеров стресса у рыб. При краткосрочном транспортном стрессе она повышается практически сразу после воздействия и служит более надёжным показателем, чем кортизол [2]. У обыкновенного карпа и обработка, и транспортировка достоверно увеличивают концентрацию глюкозы в плазме [3, 4].

Помимо глюкозы, в качестве экспресс-маркеров рассматриваются кортизол, лактат, холестерин, мочевая кислота, кетоновые тела и гемоглобин. Универсальность этих показателей варьирует: если глюкоза, кортизол, лактат и гемоглобин общепризнанны для оценки острого и гипоксического стресса у костистых рыб, то холестерин, мочевая кислота и кетоновые тела видоспецифичны, отражая особенности липидного и азотистого обмена у разных таксономических групп [5, 6].

Современный рынок предлагает широкий спектр портативных экспресс-анализаторов (i-Check 200 VET, StatStrip Xpress, HemoCue и др.), позволяющих в полевых условиях за 1-6 минут определять те или иные биохимические показатели по капле цельной крови. Такие приборы с тест-полосками позволяют быстро оценить состояние рыбы при массовых перевозках, заменяя трудоёмкие лабораторные методы.

Для получения достоверной картины состояния всей партии необходимо учитывать индивидуальную вариабельность показателей. Слепая выборка (случайный отбор особей, экспресс-анализ, усреднение данных) даёт объективную картину по всей партии и особенно востребована при перевозке ценного посадочного материала или товарной рыбы, когда критически важна скорость получения данных.

Цель работы - изучить влияние кондиционера N_1 на динамику глюкозы крови, ЧДД и свободного аммиака при суточной перевозке карпа, обосновав применимость экспресс-маркеров стресса в рыбоводстве.

Материалы и методы исследований. Исследование выполнено в условиях аквариальной лаборатории кафедры зоологии и аквакультуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Объектом служили годовики карпа (*Cyprinus carpio* L.) со средней массой 119,38±14,82 г из единого потомства. За 24 часа до транспортировки рыбу не кормили.

Транспортировку осуществляли в стандартных полиэтиленовых пакетах объёмом 8 л с соотношением воды и технического кислорода 1:2. Пакеты герметично закрывали и размещали в термоящиках при температуре 10,0±0,6 °С. Длительность транспортировки составила 24 ч.

Плотность посадки рыб определяли по методике Ю.И.Орлова [1]. Поскольку публикация лишена рекламного характера, применяемый препарат зашифрован под маркировкой N_1. Схема эксперимента (трёхкратная повторность) представлена в таблице 1.

Таблица 1

Схема эксперимента

Наименование групп	Плотность посадки, г/л	Описание
Контрольная	0 (вода без рыбы)	Без кондиционера
Опытная №1	240,8	Без кондиционера
Опытная №2	240,8	С добавлением N1
Опытная №3	481,6	С добавлением N1

Кондиционер N_1 вносили из расчёта 1,25 мл/л (5-кратная дозировка). O_2 и температуру измеряли оксиметром «САМАРА-2». Для определения pH и NH_3 использовали капельные тесты для анализа воды фирмы «НИЛПА», в частности NH_3 рассчитывали по их калибровочным таблицам.

Кровь отбирали из хвостовой вены одноразовыми шприцами. Гликемию определяли на глюкометре Contour TS (Ascensia Diabetes Care, Швейцария; электрохимический метод; объем пробы 0,6 мкл; время измерения 5 с; диапазон 0,6-33,3 ммоль/л; автокалибровка).

Частоту дыхательных движений (ЧДД) подсчитывали визуально за 60 с. сразу после вскрытия пакетов.

Статистическую обработку проводили с расчётом среднего арифметического (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента ($p<0,05$).

Результаты исследований. Гидрохимические и физиологические показатели до и после суточной перевозки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Гидрохимические и физиологические показатели до и после суточной транспортировки

Группа	O_2, мг/л	pH	NH_3, мг/л	Глюкоза, ммоль/л	ЧДД, движ./мин
Исходная (Фон)	9,3±0,01	8,0±0,01	0,0054±0,01	4,53 ± 0,48	95,3 ± 5,3
Контрольная	38,03±0,98	7,70±0,06	0,032±0,004	-	-
Опытная №1	34,37±0,51	7,07±0,03	0,151±0,010	8,33±0,81	67,5 ± 14,3
Опытная №2	33,27±0,53	6,73±0,03	0,0043±0,0003	5,87±0,64	76,3 ± 3,8
Опытная №3	31,87±0,90	6,27±0,03	0,0029±0,0001	5,18±0,09	78,3 ± 5,6

В контрольной группе через сутки перевозки содержание кислорода составило 38,03±0,98 мг/л, подтверждая герметичность пакетов. Незначительный прирост аммиака до 0,032±0,004 мг/л при pH 7,70±0,06, вероятно, связан с фоновой микробиологической активностью.

В опытной группе №1 концентрация NH_3 выросла в 28 раз (до 0,151±0,010 мг/л), гликемия - до 8,33±0,81 ммоль/л, а ЧДД составила 67,5±14,3 движ./мин, отражая высокую индивидуальную вариабельность стресс-ответа.

В опытной группе №2 (нормативная плотность + N_1) концентрация NH_3 упала на 97,2% (до 0,0043±0,0003 мг/л, $p<0,001$), гликемия снизилась до 5,87±0,64 ммоль/л, а ЧДД стабилизировалась на уровне 76,3±3,8 движ./мин.

В опытной группе №3 (удвоенная плотность + N_1) при двукратной ихтиомассе (481,6 г/л) NH_3 оставался минимальным (0,0029±0,0001 мг/л, падение на 98,1%, $p<0,001$), глюкоза - 5,18±0,09 ммоль/л, ЧДД - 78,3±5,6 движ./мин, что сопоставимо с фоновыми значениями.

Более низкие значения O_2 в группах с N_1 (31,87-33,27 мг/л против 34,37 мг/л в опытной №1) связаны с увеличением потребления кислорода рыбами вследствие восстановления газообмена после устранения ингибирующего действия метаболитов.

Обсуждение. Полученные результаты показывают тесную связь между качеством воды в пакетах и состоянием рыб. В опытной группе №1 (нормативная плотность без препарата) зафиксированы максимальные уровни NH_3 (0,151±0,010 мг/л), гипергликемия (8,33±0,81 ммоль/л) и высокая вариабельность ЧДД. Это указывает на острый стресс, вызванный аммиачной интоксикацией: аммиак, проникая через жабры, действует как нейротоксин, запускает выброс катехоламинов и кортизола, что ведёт к распаду гликогена и росту глюкозы [3, 4]. Одновременно токсическое поражение жабр ухудшает газообмен и вызывает дыхательную аритмию.

Кондиционер N_1 снижал NH_3 на 97-98% и нормализовал глюкозу с ЧДД до фоновых значений. В группе №3 с удвоенной плотностью показатели оставались на уровне группы №2, доказывая, что лимитирует стресс не сама плотность, а накопление метаболитов. Их эффективное связывание позволяет безопасно увеличивать загрузку пакетов.

Наблюдаемое в группах с N_1 снижение концентрации растворённого кислорода (на 3,2-7,3% относительно опытной №1) не означает ухудшения условий, а, наоборот, отражает более активное потребление O_2 рыбами. Связывание аммиака и нитритов восстанавливает нормальную работу жабр и улучшает перенос кислорода гемоглобином, что активизирует обмен веществ [1, 6]. На это указывает и то, что при формально более низких значениях O_2 в опытных №2 и №3 уровень глюкозы и ритм дыхания оставались в норме, тогда как в опытной №1 избыток кислорода не использовался из-за аммиачной интоксикации.

С практической точки зрения, глюкоза крови даёт общую оценку глубины стресса, а ЧДД позволяет моментально заметить нарушения дыхания. Сочетание этих двух показателей, измеряемых портативным глюкометром и визуальным подсчётом, позволяет прямо на месте оценить состояние партии рыбы. Применение метода слепой выборки в условиях товарной

перевозки позволит усреднить индивидуальные различия и дать достоверную картину о том, насколько эффективно работает кондиционер и в каком состоянии находится вся партия.

Таким образом, промышленный водный кондиционер N_1, связывая аммиак, предотвращает резкий подъём глюкозы и сбои дыхания даже при удвоенной плотности посадки. Это делает его полезным средством для снижения потерь и повышения надёжности перевозок живой рыбы в товарном рыбоводстве.

Заключение. Проведёнными исследованиями установлено:

1. Применение кондиционера N_1 (1,25 мл/л) обеспечивает практически полное связывание свободного аммиака на и удержание глюкозы крови на уровне фоновых значений даже при удвоенной плотности посадки.
2. Глюкоза крови, измеренная портативным глюкометром, - надёжный экспресс-маркер транспортного стресса: без кондиционера регистрировалась гипергликемия, а при добавлении N_1 значения оставались в физиологической норме.
3. Частота дыхательных движений служит дополнительным быстрым показателем: в группе без препарата наблюдалась дыхательная аритмия, применение N_1 стабилизировало дыхательный ритм на уровне фона.
4. Совместный учёт глюкозы и ЧДД с помощью портативных приборов и слепой выборки позволяет быстро оценить состояние всей партии прямо во время перевозки, своевременно скорректировать условия и снизить потери товарной рыбы.

Библиографический список

1. Пронина Г.И. Гематологические показатели карповых рыб в период адаптации после транспортировки в герметических емкостях / Г.И. Пронина, А.А. Кандыбин, В.Д. Чан, Э.В. Бубунец // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. - 2024. - № 4. - С. 94-101. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gematologicheskie-pokazateli-karpovyh-ryb-v-period-adaptatsii-posle-transportirovki-v-germeticheskih-emkostyah (дата обращения: 23.04.2026).

2. Zhang Y.L. Water quality changes and physiological responses during live fish transport and measures to reduce transport-related stress: a review / Y.L. Zhang, Y.M. He, J. Yuan [et al.] // Acta Hydrobiologica Sinica. - 2018. - Vol. 42, no. 2. - P. 439-450.

3. Martins K.V.B. Effectiveness and safety of clove oil and common salt in the long-term transport of Cyprinus carpio / K.V.B. Martins, S.B. Silva, A.J.D.S. Cardoso, A.L. Salaro, P.D.M.F. Ferreira, M.B. Freitas, J.A.S. Zuanon // Aquaculture. - 2024. - Vol. 583. - Article 740532. - DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.740532.

4. Hoseini S.M. Cytokines' gene expression, humoral immune and biochemical responses of common carp (Cyprinus carpio, Linnaeus, 1758) to transportation density and recovery in brackish water / S.M. Hoseini, M. Yousefi, S.H. Hoseinifar, H. Van Doan // Aquaculture. - 2019. - Vol. 504. - P. 13-21.

5. Golovina N. Experience of morphofunctional indices use at fish health control in aquaculture / N. Golovina, N. Romanova, V. Varaksina // E3S Web of Conferences. - 2021. - Vol. 273. - Article 03002.

6. El-Houseiny W. The regulatory roles of Yucca extract on the growth rate, hepato-renal function, histopathological alterations, and immune-related genes in common carp exposed with acute ammonia stress / W. El-Houseiny, A.H. Arisha, A. Behairy [et al.] // Aquaculture. - 2021. - Vol. 534. - Article 736287. - DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736287.

УДК 636.52/.58 : 636.087.74

ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АМИНОКИСЛОТ НА ЯЙЦЕНОСКОСТЬ И МИНЕРАЛЬНЫЙ ОБМЕН КУР-НЕСУШЕК

Лопатина Виктория Васильевна, *аспирант кафедры физиологии, этологии и биохимии животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, vikki9604@yandex.com*
Вертипрахов Владимир Георгиевич, *доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева vertiprakhov63@mail.ru*

Аннотация: *Изучено влияние низкопротеинового рациона, сбалансированного синтетическими аминокислотами, на яйценоскость и минеральный обмен кур-несушек. Установлено, что низкопротеиновый рацион не сопровождался снижением яичной продуктивности: в опытной группе было получено больше яиц, однако средняя масса яйца была несколько ниже (54,6 г против 58,4 г). В дуоденальном химусе кур опытной группы выявлено достоверное снижение содержания фосфора через 1 час после кормления, а в крови — достоверное снижение концентрации ионизированного кальция.*

Ключевые слова: *куры-несушки, синтетические аминокислоты, яйценоскость, кальций, фосфор*

Снижение уровня сырого протеина в рационах кур-несушек, сбалансированных добавлением синтетических аминокислот, рассматривается как один из перспективных подходов к повышению эффективности кормления сельскохозяйственной птицы и снижению азотной нагрузки на окружающую среду. По данным литературы, уменьшение содержания сырого протеина при корректировке аминокислотного профиля позволяет поддерживать продуктивность птицы и качество яиц на приемлемом уровне [1–3].

Минеральный обмен кур-несушек, прежде всего обеспеченность кальцием и фосфором, связан с формированием скорлупы яйца и физиологическим состоянием птицы [4, 5]. При оценке продуктивности важно учитывать не только количество полученных яиц, но и интенсивность яйценоскости. В систематическом обзоре по продленным циклам яйцекладки отмечено, что уровень продуктивности может сохраняться после 70-недельного возраста, однако после 80 недель возрастает вариабельность продуктивных и качественных показателей [6].

Цель исследования — оценить влияние снижения уровня сырого протеина при балансировании синтетическими аминокислотами на показатели яйценоскости и минерального обмена у кур-несушек.

Материалы и методы. Эксперимент проведён в 2026 году в виварии РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева на фистулированных курах-несушках кросса «Хайсекс Уайт» в возрасте 40 недель. Были сформированы контрольная и опытная группы, по 3 особи в каждой. Контрольная группа получала рацион с содержанием сырого протеина 17 %. Опытная группа получала рацион со сниженным уровнем сырого протеина — 14 %, сбалансированными синтетическими аминокислотами. Для отбора проб дуоденального химуса применяли фистульную технологию. Длительность опыта 25 дней. Концентрацию кальция (Ca) и фосфора (P) определяли в химусе и сыворотке крови кур-несушек с использованием наборов «ДиаВет» на анализаторе BS-3000M (КНР). Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p<0,05$.

Результаты и обсуждение. Показатели содержания кальция и фосфора в дуоденальном химусе приведены в таблице 1. По содержанию кальция в химусе кур натощак и через 1 час после кормления достоверных межгрупповых различий не установлено. Содержание фосфора в химусе кур натощак также статистически значимо не различалось между группами. Через 1 час после кормления концентрация фосфора в химусе кур опытной группы была достоверно ниже, чем в контрольной группе ($p<0,05$).

Таблица 1

Показатели минерального обмена у кур-несушек (M±m)

Показатель	Время отбора	Контрольная группа	Опытная группа
Кальций, ммоль/л	натощак	55,95 ± 3,68	51,75 ± 3,21
	через 1 час после кормления	50,77 ± 3,35	52,40 ± 3,33
Фосфор, ммоль/л	натощак	11,17 ± 0,31	12,10 ± 0,52
	через 1 час после кормления	13,45 ± 0,51	11,78 ± 0,42*

Примечание: * – различия статистически достоверны по сравнению с контрольной группой ($p<0,05$).

Полученные показатели крови у кур-несушек представлены в таблице 2. Концентрация ионизированного кальция в крови опытной группы была достоверно ниже показателя контрольной группы.

Таблица 2

Показатели кальция и фосфора в крови кур-несушек (M ± m)

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Кальций, ммоль/л	1,61 ± 0,05	1,28 ± 0,08*
Фосфор, ммоль/л	0,86 ± 0,14	0,88 ± 0,03

Примечание: * – различия статистически достоверны по сравнению с контрольной группой ($p<0,05$).

За период наблюдения от кур опытной группы было получено 39 яиц, от кур контрольной группы — 24 яйца. Интенсивность яйценоскости в опытной группе была выше, чем в контрольной, и составила 95,2 % против 54,8 %. При этом значение в контрольной группе было ниже желательного уровня для кур-несушек. Средняя масса яйца в опытной группе была ниже, чем в контрольной, и составила 54,4 против 58,3 г. В целом полученные данные согласуются с литературными сведениями о возможности использования низкопротеиновых рационов при условии балансирования аминокислотного состава [2, 3], но выявленное снижение ионизированного кальция в крови и фосфора в химусе через 1 час после кормления указывает на необходимость контроля минерального обмена [4, 5].

Выводы. Снижение уровня сырого протеина при балансировании синтетическими аминокислотами не сопровождалось уменьшением количества полученных яиц по сравнению с контролем. Содержание фосфора в химусе кур через 1 час после кормления у кур опытной группы было достоверно ниже, чем в контроле. В крови кур опытной группы выявлено достоверное снижение концентрации ионизированного кальция. Полученные данные свидетельствуют о необходимости контроля минерального обмена при использовании низкопротеиновых рационов, сбалансированных синтетическими аминокислотами.

Библиографический список

1. Fisinin V.I., Vertiprakhov V.G., Grozina A.A., Khasanova L.V. Pancreatic secretion and amino acid assimilation in the intestine of chickens fed different protein sources in the diet // Agricultural Biology. 2017. Vol. 52, No. 2. P. 374–381. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.2.374rus.

2. Parenteau I., Stevenson M., Kiarie E. Egg production and quality responses to increasing isoleucine supplementation in Shaver White hens fed a low crude protein diet fortified with synthetic amino acids between 20 and 46 weeks of age // Poultry Science. 2020. Vol. 99. P. 1444–1453. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.064.

3. Zhou J., Qiu K., Wang J., Zhang H., Qi G., Wu S. Effect of dietary serine supplementation on performance, egg quality, serum indices, and ileal mucosal immunity in laying hens fed a low crude protein diet // Poultry Science. 2021. Vol. 100. Article 101465. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101465.

4. Dao H., Moss A., Bradbury E., Swick R. Effects of L-arginine, guanidinoacetic acid and L-citrulline supplementation in reduced-protein diets on bone morphology and mineralization of laying hens // Animal Nutrition. 2023. Vol. 14. P. 225–234. DOI: 10.1016/j.aninu.2023.03.012.

5. Liu H., Xu K., Wang H. et al. Effects of different forms of amino acid supplementation on performance and intestinal barrier function of laying hens fed a low-protein diet // Poultry Science. 2024. Vol. 103. Article 104375. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104375.

6. Arulnathan V., Turner I., Bamber N. et al. A systematic review of potential productivity, egg quality, and animal welfare implications of extended lay cycles in commercial laying hens in Canada // Poultry Science. 2024. Vol. 103. Article 103475. DOI: 10.1016/j.psj.2024.103475.

УДК 597.841:591.16

О РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЗИМОВКИ *BUFO SACHALINENSIS* NIKOLSKII, 1905 В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Медовиков Николай Максимович, *аспирант кафедры зоотехнии и биологии*, *Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, medovikov1184@gmail.com*

Аннотация: *В работе представлены результаты исследования влияния различных способов зимовки на потерю массы тела у сахалинской жабы (Bufo sachalinensis) в лабораторных условиях. Эксперимент проводился в 2017–2020 гг. на особях из популяции г. Владивостока. В первом варианте амфибии зимовали в воде (1,5–10 °C, 8 недель), во втором – в контейнерах с дубовым опадом (5–11 °C, 9 недель). Установлено, что самки, зимовавшие в водной среде, теряли достоверно меньше массы тела (M=10,3%; SD=5,3) по сравнению с самками, зимовавшими в опаде (M=25,0%; SD=12,7; U=3,0; p=0,02). У самцов достоверных различий не выявлено (p>0,05). Зимовка в воде может быть рекомендована для снижения потерь массы у самок, что потенциально положительно скажется на их репродуктивном успехе в лабораторных условиях. Требуются дальнейшие исследования влияния условий гибернации на размножение и выживаемость потомства.*

Ключевые слова: *Bufo sachalinensis, зимовка, гибернация*

Bufo sachalinensis Nikolskii, 1905 – вид бесхвостых земноводных, обитающий на территории российского Дальнего Востока и Корейского полуострова, ранее считался синонимом дальневосточной жабы, *Bufo gargarizans* (Cantor, 1842) [1,2]. Вид обычен для регионов Дальнего востока, однако растущий уровень антропогенной нагрузки на экосистемы ДВФО может негативно сказаться на состоянии популяций сахалинской жабы в будущем, что требует отработки методик содержания представителей этого вида в искусственных условиях для последующего создания устойчивых лабораторных популяций и реинтродукции особей [3].

В природных условиях эти амфибии зимуют в углублениях в земле, под опадом, в полостях между корнями деревьев, в норах и т.д. Наблюдались случаи зимовок в стоячих и проточных водоемах на глубине 1 – 1,5 м.

Материалы и методы. Исследования проводили в лабораторном кабинете зоокультуры кафедры зоологии РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) в 2017 – 2020 годах. В эксперименте участвовали особи, собранные на территории города Владивостока, Приморский край. В первом варианте 4 самца и 5 самок были высажены в полипропиленовые контейнеры с площадью дна 2184 см^2 и с 20 л воды. Подмена воды

осуществлялась еженедельно. Температура воды в контейнерах колебалась в пределах 1,5 – 10 °С. Зимовка длилась 8 недель. Во втором варианте зимовки использовались такие же контейнеры, заполненные дубовым опадом на 2/3 объёма, были установлены поилки. Были высажены 7 самцов и 7 самок. Температура воздуха в контейнерах колебалась в пределах 5 – 11 °С. Зимовка длилась 9 недель. Кормление в обоих вариантах не осуществлялось. Контрольные взвешивания производились один раз в неделю.

Результаты. Нами было установлено, что зимовка в водной среде уменьшает потерю массы тела самок сахалинской жабы в течении гибернации. Самки, зимовавшие в воде, теряли от 3,3% до 16,5% массы тела (M=10,3; SD=5,3). Самки, зимовавшие в дубовом опаде, теряли от 11,7% до 48,2% массы тела (M=25,0; SD=12,7). Достоверность различий между группами проверяли с помощью непараметрического U-критерия Манна – Уитни (U=3,0; p=0,02).

Достоверных различий между группами самцов выявить не удалось (p>0,05).

Заключение. Таким образом, результаты настоящего исследования показывают, что зимовка в воде позволяет уменьшить потери массы тела самками в ходе зимовки, что может благотворно сказаться на их плодовитости в лабораторных условиях. Требуется провести дополнительные исследования влияния способов организации зимовки, проследив их воздействие на репродуктивных успех пар размножающихся амфибий и на выживаемость их потомства.

Библиографический список

1. Matushkina K. A. N. Patterns of reproduction, growth and development in Asiatic Toads (Bufo gargarizans Cantor, 1842) from Russia and China: an experimental comparison / K. A. Matushkina, O. V. Makarov, K. A. Afrin, A. A. Kidov, S. N. Litvinchuk // Herpetology Notes. – 2022. – Vol. 15. – P. 123–138

2. Othman, S.N. From Gondwana to the Yellow Sea, evolutionary diversifications of true toads *Bufo sp*. in the Eastern Palearctic and a revisit of species boundaries for Asian lineages / S.N. Othman, S.N. Litvinchuk, I.V. Maslova et al.// Life Sciences. – 2022. – P. 1–104.

3. Kidov A.A. A review of zooculture methods for studying rare and endangered amphibians from Russia and adjacent countries: The Timiryazev Academy experience / A.A. Kidov, E.A. Kidova, L.S. Drozdova, Y. Vyatkin, R.A. Ivolga, T.E. Kondratova, A.A. Ivanov // TRUDY OF THE INSTITUTE OF ZOOLOGY RK. – 2021. – P. 89–104.

УДК 59.009

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА САПСАНАМИ *FALCO PEREGRINUS* TUNSTALL, 1771 ГЛАВНОГО ЗДАНИЯ МГУ В 2025 ГОДУ

Новиков Владимир Александрович, *аспирант кафедры Зоологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; младший научный сотрудник лаборатории «Биоразнообразие» ФГБУ «ВНИИ Экология»; лаборант сектора геодинамики научно-учебного музея землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова, novikov_vladimir.a@mail.ru,*

Сорокин Александр Григорьевич, *к.б.н., заведующий лаборатории «Биоразнообразие» ФГБУ «ВНИИ Экология», a.sorokin@vniiecology.ru,*

Шилина Анастасия Петровна, *старший научный сотрудник лаборатории «Биоразнообразие» ФГБУ «ВНИИ Экология», a.shilina@vniiecology.ru,*

Екатерина Евгеньевна Максимова, *инженер научно-учебного музея землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова,*

Смуров Андрей Валерьевич, *д.б.н., директор научно-учебного музея землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова.*

Аннотация: *В настоящей работе представлены результаты анализа материалов дистанционного видеомониторинга об использовании сапсанами в 2025 году гнездовых ниш Главного здания МГУ им. М.В. Ломоносова.*

Ключевые слова: *сапсан, гнездовая ниша, ГЗ МГУ, камера дистанционного видеонаблюдения, мечение*

Сапсан *Falco peregrinus* Tunstall, 1771 – один из наиболее уязвимых видов птиц фауны России. Популяции сапсана Северо-Западного, Центрального и Приволжского федеральных округов Российской Федерации (за исключением Республики Башкортостан) отнесены к категории 1 – «находящиеся под угрозой исчезновения» [5]. Категория редкости 1 (вид под угрозой исчезновения) присвоена сапсану в Красной книге Москвы, в которой также отмечается, что московская группировка сапсанов восстанавливается благодаря реинтродукции птиц, выращенных в питомниках, и к настоящему времени отмечается постепенный рост числа гнездящихся пар при их общем очень небольшом числе [2]. Также отмечается, что данные об адаптации сапсанов к жизни в мегаполисе ещё только накапливаются и необходим усиленный контроль за условиями их гнездования.

Объектом настоящего исследования являются сапсаны, гнездовая территория которых – Главное здание МГУ им. М.В. Ломоносова (ГЗ МГУ) на Воробьёвых горах (Москва). С 2005 года на этой территории на регулярной основе осуществляется мониторинг сапсанов [1,4], а после установки в 2018 году в гнездовые ниши видеокамер дистанционное наблюдение дает возможность получать уникальную информацию о гнездовом поведении московских сапсанов. Мониторинг позволил установить, что в разные годы сапсаны ГЗ МГУ для гнездования используют то одну, то другую гнездовую нишу: первая обращена северо-восток, вторая – на юго-восток.

В период 2005-2022 годов в паре ГЗ МГУ отмечался один и тот же самец, меченный неразъемным кольцом Русского соколиного центра ФГБУ «ВНИИ Экология» [4]. Анализ генетического разнообразия по образцам перьевого материала, собранного в разные годы, показал, что в период 2012-2021 годов в этой паре сменилось 3 самки [1]. В 2023-2024 гнездовую территорию ГЗ МГУ занимал другой самец, визуальная идентификация которого оказалась возможной благодаря особенностям окраски пера левого крыла [3]. Менялась ли самка в этой паре установить не удалось. В последние годы сапсаны ГЗ МГУ держались на гнездовой территории и в зимнее время. Но с конца 2024 года наблюдателями отмечалась только одна птица.

С начала января 2025 года камерами видеонаблюдения в обеих гнездовых нишах ГЗ МГУ с разной степенью регулярности фиксировались два сапсана, один из которых имел на левой лапе кольцо с буквенно-цифровым кодом 2BD (рисунок 1).



Рис. 1. Сапсан, меченый зеленым металлическим кольцом с буквенно-цифровым кодом 2 BD

Этот сапсан родился у пары сапсанов ГЗ МГУ в 2022 году и был окольцован 23.06.2022 г. В июле 2022 года он вместе с двумя другими молодыми сапсанами из выводка покинул гнездовую нишу и до начала 2025 года сведений о нем не поступало.

В настоящей работе представлены результаты анализа материалов дистанционного видеомониторинга об использовании сапсанами в 2025 году гнездовых ниш Главного здания МГУ им. М.В.Ломоносова.

Материалы и методы. Материал исследования – данные камер дистанционного видеонаблюдения и визуальных наблюдений в ходе полевых исследований в предгнездовой и гнездовой периоды (февраль-июнь 2025 года) и в период осенней миграции и начала зимовки (вторая половина октября-декабрь 2025 года).

В ходе анализа фиксировались число и продолжительность пребывания сапсанов в гнездовых нишах: как индивидуального (таблица 1), так и совместное (таблица 2), в течение суток и в течение каждого месяца в указанные периоды и оценивалась динамика посещений.

Результаты. В течении указанных периодов 2025 года присутствие двух сапсанов было отмечено в обеих гнездовых нишах, у обеих птиц регистрировалось проявление гнездового поведения, были отмечено их регулярное взаимодействие (таблицы 1-2, рисунки 2-3).

В феврале отмечены единичные посещения гнездовых ниш: окольцованный сапсан единожды (11.02.2025) посетил нишу 2, где провел 8,5 минут; неокольцованная птица единожды (9.02) посетила нишу 1, где провела около четырех часов и четырежды (2.02, 22.02, 25.02, 27.02) посетила нишу 2, где суммарно провела полчаса. Во время нахождения в нишах, оба сапсана демонстрировали элементы гнездового поведения: лёжа, рыли лапами углубления в гравийной подстилке, клевали гравий, после сидели на краю гнездовой ниши и осматривались. Контактов между птицами в гнездовых нишах в феврале не отмечено. При визуальных наблюдениях в ходе полевых исследований в этот период отмечены непродолжительные конфликты с парой воронов *Corvus corax* Linnaeus, 1758, вероятно пытавшихся загнездиться в районе звезды шпиля Главного здания МГУ.

С марта частота посещений гнездовых ниш возрастает (таблица 1), при этом сапсан без колец посещает гнездовые ниши чаще и проводит там суммарно больше времени, чем меченый сапсан. Так, неокольцованный сапсан посетил нишу 1 десять раз, суммарно проведя в ней 8,22 часа, и шестнадцать раз нишу 2, проведя там около 21 часа. Окольцованный сапсан дважды посетил нишу 1 (18.03 – 4,65 мин; 28.02 – 29,75 мин), и дважды – нишу 2 (23.03 – 4,8 мин; 28.03 – 0,5 мин). При анализе материалов видеозаписи и при визуальных наблюдениях в процессе полевых исследований отмечались регулярная совместная вокализация, а также некоторое конфликтное поведение при полетах на близких дистанциях.

В апреле регистрировались как вокализационные контакты, так и прямые конфликты. Из четырех взаимодействий в нише 1 (таблица 2) – два были драками (2.04 – 38,32 мин; 29.04 – 11,62 мин). В нише 2 отмечены 2 конфликта (5.04 – 3,41 часа; 15.04 – 18,58 мин). В общей сложности окольцованный сапсан посещал нишу 1 шесть дней (1,13 часа), нишу 2 – два дня (3,73 часа); неокольцованный – 20 дней в нише 1 и 29 дней в нише 2 (12,85 часов и 221,53 часа, соответственно).

Начиная с третьей декады мая, было выявлено разделение предпочтений птиц по присутствию в нишах – окольцованный сапсан чаще и больше по времени посещал нишу 1 (30,98 часов из 40,21 часов за месяц), неокольцованный – нишу 2 (65,14 часов в нише 1 и 178, 44 часов в нише 2). Количество взаимодействий между птицами кратно увеличилось (20 в нише 1 общей длительностью 52 мин; 12 в нише 2 общей длительностью 15 мин), при этом конфликтных ситуаций зарегистрировано не было. Окольцованный сапсан проявлял элементы гнездового поведения, характерные для самца: четырежды

Таблица 1

Динамика индивидуального присутствия сапсанов в гнездовых нишах

Месяц	Гнездовая ниша 1 (обращена на северо-восток)						Гнездовая ниша 2 (обращена на юго-восток)					
	Сапсан, меченый зеленым металлическим кольцом с буквенно-цифровым кодом 2 BD			Сапсан без колец			Сапсан, меченый зеленым металлическим кольцом с буквенно-цифровым кодом 2 BD			Сапсан без колец		
	Дней	Посещений	Время, чч:мм:сс	Дней	Посещений	Время, чч:мм:сс	Дней	Посещений	Время, чч:мм:сс	Дней	Посещений	Время, чч:мм:сс
Февраль	-	-	-	1	1	3:51:06	1	1	0:08:22	4	5	0:30:33
Март	2	3	0:34:24	10	15	8:13:06	2	2	0:05:16	16	49	20:54:44
Апрель	6	11	1:07:36	20	50	12:50:52	2	2	3:43:20	29	133	221:31:57
Май	16	81	40:07:48	21	106	65:08:29	15	29	9:57:51	28	141	178:26:22
Июнь	30	101	118:08:56	14	33	42:42:07	27	68	37:52:26	26	92	149:30:00
Октябрь	11	13	3:43:23	-	-	-	11	13	3:39:00	-	-	-
Ноябрь	10	12	4:48:11	-	-	-	6	6	1:19:03	-	-	-
Декабрь	11	12	4:07:51	-	-	-	11	11	1:14:26	-	-	-

Таблица 2

Динамика совместного присутствия сапсанов в гнездовых нишах

Месяц	Гнездовая ниша 1 (обращена на северо-восток)			Гнездовая ниша 2 (обращена на юго-восток)		
	Дней	Посещений	Время, чч:мм:сс	Дней	Посещений	Время, чч:мм:сс
Апрель	4	4	0:53:40	2	2	3:43:17
Май	5	20	0:52:01	10	12	0:15:02
Июнь	9	11	0:01:36	14	18	0:11:38

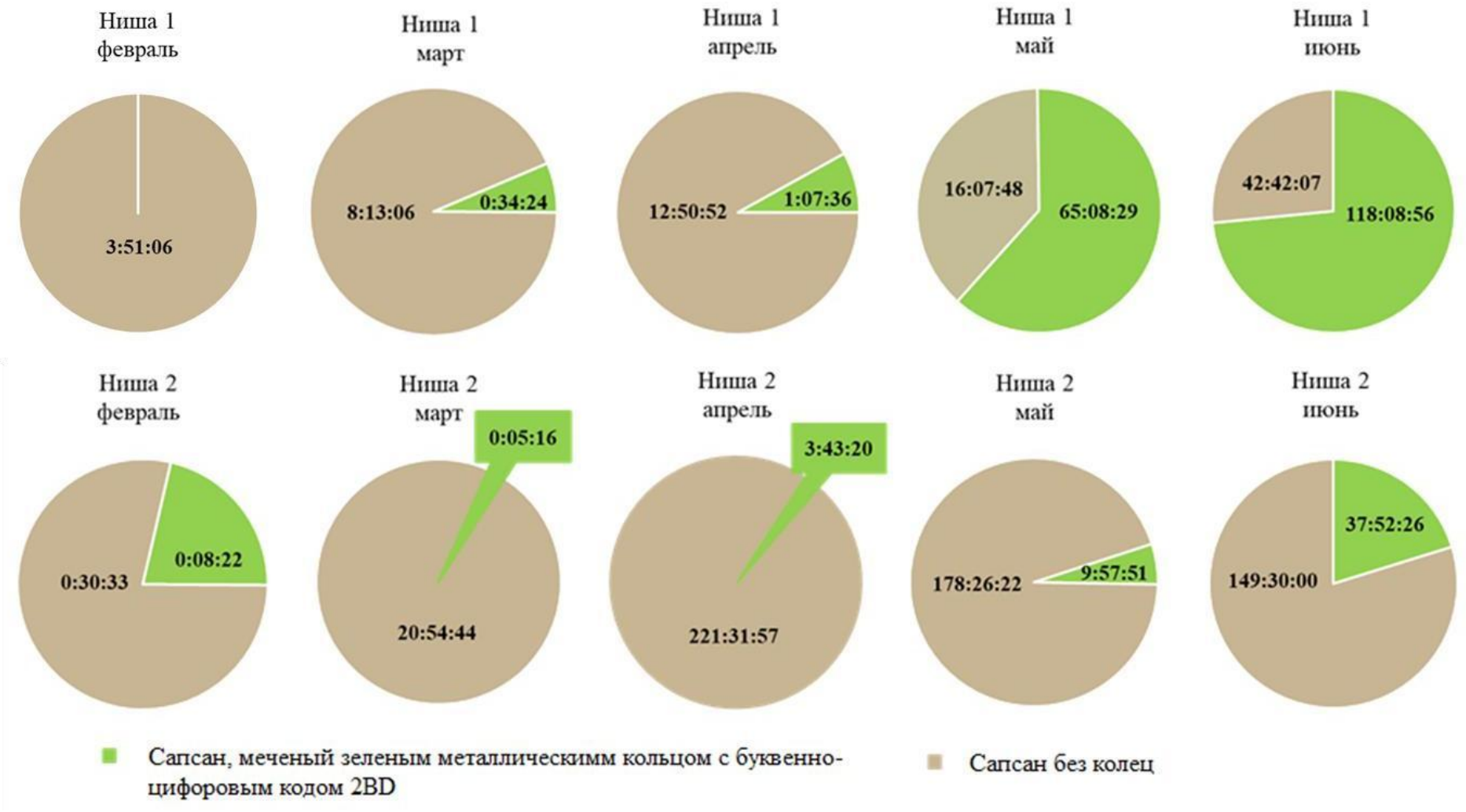


Рис. 2. Динамика индивидуального присутствия сапсанов в гнездовых нишах (ч)

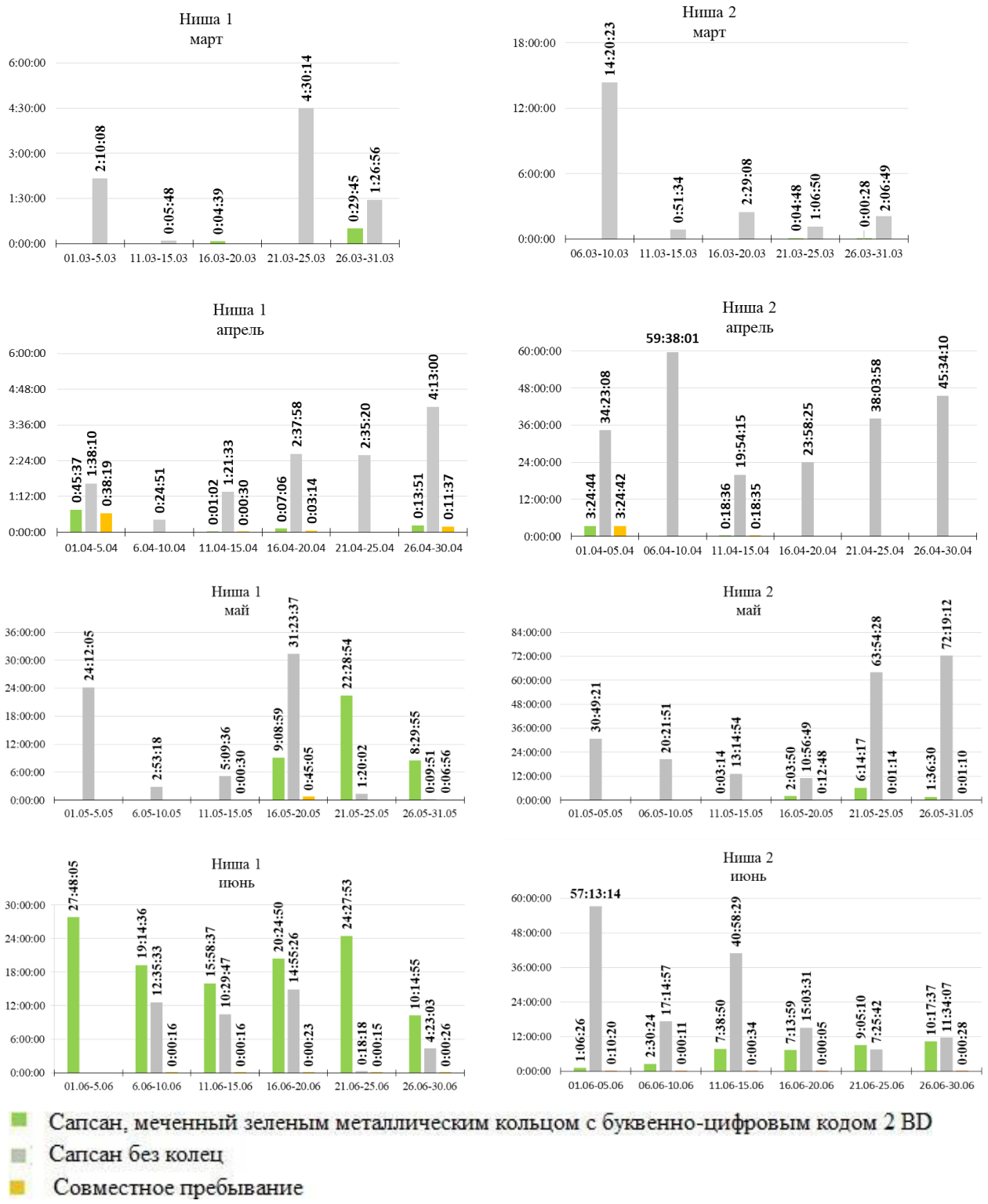


Рис. 3. Динамика присутствия сапсанов в гнездовых нишах в гнездовой период (суммарно каждые 5 дней, ч)

приносил добычу: дважды подзывал вторую птицу, в двух случаях, не получив ответа улетал, и дважды после ожидания сам съедал корм.

В июне ниша 1 посещалась окольцованным сапсаном каждый день (в общей сложности 118,15 часов), неокольцованным – 14 дней (42,7 часов). Птицы взаимодействовали 11 раз суммарно 1,5 минуты (таблица 2). Ниша 2 посещалась обеими птицами почти одинаково по

количеству дней, однако по времени дольше присутствовала неокольцованная (149,5 часов против 37,87 часов у окольцованной). Было отмечено 18 взаимодействий общей продолжительностью 11.63 минуты (таблица 2). Несмотря на активное посещение гнездовых ниш, проявление гнездового поведения, пара не образовалась и гнездования не было.

Второй этап наблюдений (со второй половины октября и до конца года) имел целью определить останутся ли птицы на зимовку на территории ГЗ МГУ и оценить характер их взаимодействий в этот период. В результате визуальных наблюдений во время полевых исследований было отмечено присутствие обеих птиц на территории ГЗ МГУ с октября по конец декабря 2025 года. Анализ записей камеры видеонаблюдений показал, что в указанный период обе ниши посещались исключительно окольцованным сапсаном (таблица 1), неокольцованная птица изредка проявляла свое присутствие вокализацией.

Заключение. Дистанционные инструментальные и прямые визуальные наблюдения за сапсанами Главного здания МГУ в 2025 году позволили не только выявить факт натальной филопатрии для сапсанов московской группировки и впервые зафиксировать возвращение птенца пары птиц ГЗ МГУ непосредственно к месту рождения, но и получить информацию о возможном характере взаимодействия сапсанов, претендующих на одну и ту же гнездовую территорию в начальный момент формирования пары.

Работа выполнена в рамках диссертационной работы на соискание степени кандидата биологических наук Новикова В.А. по теме «Современное состояние, пути сохранения и восстановления сапсана (*Falco peregrinus*) центра европейской части России» и темы рег. № НИОКТР: 125121714576-4 Государственного задания ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды» (ФГБУ «ВНИИ Экология») Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Библиографический список

1. Зиневич Л.С., Новиков В.А., Рожкова Д.Н., Шилина А.П., Бородин А.И., Калякин В.Н., Сорокин А.Г. Анализ генетического разнообразия и сменяемости особей в парах восстанавливаемой популяции сапсана в московском регионе // Второй Всероссийский орнитологический конгресс (г. Санкт-Петербург, Россия, 30 января – 4 февраля 2023 г.). Тезисы докладов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2023. – С. 91.

2. Калякин, М.В. Сапсан / М.В. Калякин, О.В. Волцит // Красная книга города Москвы. 3-е издание /Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы Комиссия по редким и находящимся под угрозой исчезновения в условиях города Москвы видам животных и растений, 2023. – С. 119.

3. Новиков В.А., Шилина А.П., Буянова Ю.А., Сорокин А.Г. Гнездовое поведение пары сапсанов Главного здания МГУ и рацион птенца в 2024 году // Наука в вузовском музее: Материалы ежегодной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Москва, 18–21 ноября 2025 г. / Отв. ред. А. В. Смуров; Музей землеведения Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. – Москва: МАКС Пресс, 2025. – С. 206-209.

4. Сорокин А.Г., Бородин А.И., Шилина А.П., 2019. Выпуск сапсана в Москве в 2017 году в рамках плана мероприятия Года экологии в России // Сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института охраны окружающей среды за 2019. – М.: ВНИИ Экология. – С. 399-409.

5. Сорокин А.Г. Морозов В.В., Шилина А.П. 2021. Сапсан *Falco peregrinus* (Tunstall, 1771) – Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. – М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 656-657.

УДК 638.123.52

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БУРЗЯНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ТЁМНОЙ ЛЕСНОЙ ПЧЕЛЫ ПАСЕКИ ЗАКАЗНИКА «АЛТЫН СОЛОК»

***Рафил Фитратович Юмагужин**, аспирант 2 года обучения кафедры пчеловодства, частной зоотехнии и разведения животных ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, yumarafil95@mail.ru*

***Аннотация:** В статье представлены результаты анализа морфометрических признаков бурзянской популяции тёмной лесной пчелы Apis mellifera mellifera L. Актуальность работы обусловлена необходимостью корректной интерпретации данных морфометрического анализа при мониторинге состояния генофонда, испытывающего угрозу гибридизации с завозными южными породами. В работе проведены измерения следующих морфометрических параметров: длина хоботка, кубитальный индекс, ширина третьего тергита, тарзальный индекс. Материалом для исследования послужили пробы рабочих пчёл, отобранные в конце пчеловодного сезона 2025 года на территории пасеки КФХ Юмагужин Р.Р., расположенного в пределах границы энтомологического заказника «Алтын Солок».*

***Ключевые слова:** Медоносная пчела, кубитальный индекс, тарзальный индекс, длина хоботка*

Тёмная лесная пчела *Apis mellifera mellifera* - уникальный подвид медоносной пчелы *Apis mellifera*, эволюционно приспособленный к жизни в условиях континентального климата Северной Евразии с длительными холодными зимами [4]. Среди всех популяций тёмной лесной пчелы особое место занимает бурзянская популяция (бурзянская бортевая пчела), которая рассматривается как наиболее ценный генетический ресурс для восстановления чистокровной тёмной лесной пчелы [2]. Пчёлы данной популяции характеризуются высокой зимостойкостью и демонстрируют уникальную способность к эффективному сбору нектара с липы мелколистной [6].

В настоящее время генетическая уникальность бурзянской популяции оказалось под угрозой из-за гибридизации с южными подвидами (*A. m. caucasica, A. m. carpathica, A. m. armeniaca, A. m. artemisia*). Распространение этих подвидов обусловлено деятельностью человека — прежде всего, завозом промышленных пчелосемей в горно-лесные регионы страны [5].

Для точной диагностики подвидовой принадлежности пчелиных семей и определения их породной идентичности необходимо учитывать сезонные колебания морфометрических параметров. Изменение абиотических факторов среды в течение сезона индуцирует у медоносных пчёл модификационную (ненаследственную) изменчивость экстерьерных характеристик. К числу таких признаков относятся длина хоботка, линейные размеры крыльев (длина и ширина), кубитальный индекс, дискоидальное смещение и тарзальный индекс [3].

Основной подход морфометрии заключается в анализе максимально широкого круга параметров с последующей многомерной оценкой. Не все внешние признаки пчёл обладают одинаковой диагностической ценностью, так как их формирование в разной степени определяется средовыми факторами. В частности, размеры крыльев сильно зависят от величины ячеек, где развивался расплод, что делает их ненадёжными для самостоятельной диагностики. Поэтому Ф. Руттнер предложил альтернативу — использовать угловые характеристики жилкования крыла, такие как кубитальный индекс, которые более стабильны [1].

Цель иследования – установление соответствия морфометрических признаков бурзянской популяции тёмной лесной пчелы породным стандартам на территории пасеки КФХ Юмагужин Р.Р., расположенной в границах энтомологического заказника «Алтын Солок» (Бурзянский район, Республика Башкортостан).

Материалы и методы исследования. Материалом для исследования служили рабочие пчёлы, отобранные из семей №4, №10, №13, №21, №25, №27, №31, №35, №38, №41, №45, №47, №50. Для определения морфометрических характеристик от каждой пчелиной семьи отбирали по 30-40 особей. Перед препарированием пчёл фиксировали, погружая их в кипящую воду на 2-3 секунды. Затем насекомых извлекали и выкладывали на марлевую салфетку размером 10х15 см. Отобранных пчёл помещали в полипропиленовую коническую пробирку объёмом 15 или 50 мл. Пробирку плотно закрывали винтовой крышкой и заливали 96% этиловым спиртом, обеспечивая слой жидкости над материалом не менее 1 см. Образцы сохраняли при температуре от 0 до 40 °С не дольше одного года. Непосредственно перед проведением замеров пчёл извлекали из спирта и просушивали на фильтровальной бумаге в течение 5–10 минут при комнатной температуре.

Кубитальный индекс (Ci) представляет собой выраженное в процентах отношение длины жилки a к длине жилки b в третьей кубитальной ячейки переднего крыла. Тарзальный индекс (Ti), отражающий соотношение размеров лапки, вычисляют делением ширины первого членика правой задней конечности (b) на его длину (a), результат переводят в проценты. Длину хоботка (Lh) находят как сумму двух отрезков — a и b, результат выражают в миллиметрах.

В ходе работы нами были отобраны наиболее информативные морфометрические показатели, традиционно применяемые для идентификации породы: кубитальный индекс, тарзальный индекс и длина хоботка. Статистическая обработка данных и визуализация динамики морфометрических признаков выполнялись при использовании программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Нами был выполнен анализ морфометрических показателей на пасеке КФХ Юмагужин Р.Р. Результаты морфометрического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Морфометрическая характеристика пчелиных семей пасеки КФХ Юмагужин Р.Р.

№ п/с	Кубитальный индекс (Ci)		Тарзальный индекс (Ti)		Длина хоботка (Lh)	
	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %
4	59,81±2,54	14,69	54,72±0,55	7,10	6,23±0,04	5,07
10	60,0±1,17	13,8	55,71±0,75	4,67	6,13±0,04	2,62
13	59,13±2,21	12,96	55,32±0,63	3,94	5,90±0,05	2,59
21	60,23±1,19	13,98	53,77±0,49	3,11	6,13±0,04	2,62
25	62,06±1,45	13,8	54,97±0,54	3,42	5,96±0,05	5,93
27	62,08±1,32	14,3	56,15±0,55	6,93	6,14±0,03	3,20
31	59,66±1,18	13,98	56,06±0,53	5,67	6,07±0,03	3,12
35	64,24±1,34	12,35	53,52±0,57	6,74	6,19±0,05	4,85
38	63,94±1,52	13,02	56,05±0,48	5,42	6,16±0,03	3,08
41	61,78±1,52	14,35	54,34±0,75	8,17	6,38±0,04	3,71
45	63,65±1,64	14,11	53,57±0,63	6,96	5,97±0,03	2,97
47	59,98±1,61	14,70	57,01±0,55	5,29	6,24±0,05	4,39
50	60,57±1,39	12,57	56,49±0,75	7,27	6,32±0,03	2,81

В результате морфометрического анализа 13 пчелиных семей установлено, что значения кубитального индекса во всех обследованных семьях не выходят за пределы, установленные для подвида *Apis mellifera mellifera L.* (допустимый интервал 55–65%, предпочтительный 58–62%). Коэффициент вариации в пределах 12–15% характеризует изменчивость признака внутри семей как умеренную. Для генетически чистых среднерусских

пчёл стандартное значение Cv составляет 7–12%. Полученные в работе показатели (13–15%) несколько выше этого диапазона, что может указывать на присутствие некоторой доли генетически разнородных особей (вероятно, с примесью южных рас). Тем не менее средние величины индекса остаются в рамках породного стандарта.

Тарзальный индекс (показатель широколапости) изменяется в интервале 53–57%, что полностью укладывается в нормативы среднерусской породы (54–56%). Коэффициент вариации чрезвычайно низкий (<10%), причём в большинстве семей он не превышает 6%. Это говорит о высокой степени однородности выборок по данному признаку и подтверждает генетическую консолидированность исследуемых семей. Исключение — семья №41, у которой Cv = 8,17%, однако это значение также относится к категории низкой изменчивости.

Длина хоботка изменяется в интервале от 5,90 до 6,38 мм, что соответствует породному стандарту A. m. mellifera (5,9–6,4 мм). Коэффициент вариации крайне мал (менее 6%), что является отличительной особенностью консервативного признака, слабо подверженного сезонным и модификационным колебаниям. Столь низкие величины Cv (в среднем 3,6%) недвусмысленно свидетельствуют о высокой степени чистопородности исследованных семей, поскольку в гибридных популяциях изменчивость длины хоботка была бы существенно выше.

Выводы. Полученные результаты могут служить основой для:

1) обоснования оптимальных критериев отбора чистопородных семей для воспроизводства;

2) разработки рекомендаций по генетическому мониторингу бурзянской популяции;

3) подтверждения успешности биотехнических мероприятий, реализуемых на территории заказника «Алтын Солок».

Таким образом, бурзянская популяция тёмной лесной пчелы сохраняет ключевые морфометрические характеристики своего подвида, а выявленный умеренный уровень изменчивости кубитального индекса не ставит под сомнение её общую генетическую чистоту, но требует периодического контроля.

Библиографический список

1. Земскова Н.Е. Актуальные проблемы морфометрических исследований в пчеловодстве / Инновационные достижения науки и техники АПК: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Самара, 28 февраля 2023 года. Кинель: Самарский государственный аграрный университет. 2023. С. 414-418. EDN: KHNGIX.

2. Галин, Р.Р. Племенная работа с медоносными пчёлами в заповеднике «Шульган-Таш» // Пчеловодство, 2022. – №5 . – С. 15–17.

3. Уметбаев К.Р. Анализ породной принадлежности *Apis mellifera* L. на территории Абзелиловского района Республики Башкортостан / К. Р. Уметбаев, В. Р. Туктаров, Д. В. Шелехов // Пчеловодство и апитерапия: современное состояние и перспективы развития : материалы Всероссийской (национальной) научной конференции (в рамках подготовки к международному пчеловодческому форуму «АпиМир»), Уфа, 26–27 апреля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Министерство сельского хозяйства Республики Башкортостан; ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2023. С. 50-57. EDN WSJSYP.

4. Ilyasov R.A., Lee M.L., Takahashi J., Kwon H.W., Nikolenko A.G. A revision of subspecies structure of western honey bee Apis mellifera // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2020. – Vol. 27 (12). – P. 3615–3621. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.001.

5. Ilyasov R.A., Yumaguzhin F.G., Nikolenko A.G., et al. The Current State of the Protected Apis mellifera mellifera Population in Russia: Hybridization and Nosematosis // Animals. – 2021. – DOI 10.3390/ani11102892.

6. Sultanova R, Gabitov I, Yanbaev Y, et al. Forest melliferous resources as a sustainable development factor of beekeeping // Isr J Ecol Evol. 2019. V.65. P.1–8.

СЕКЦИЯ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВЕДЕНИЯ, ГЕНЕТИКИ И БИОТЕХНОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ

УДК 636.52/.58 : 636.084.1 : 579.25

КИШЕЧНЫЙ МЕТАГЕНОМ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КОРМЛЕНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ

Загарин Артем Юрьевич, *аспирант, ассистент кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, azagarin@rgau-msha.ru*

Аннотация: *Проведен анализ влияния использования в кормлении цыплят-бройлеров растительных экстрактов с различными биологически активными веществами на состав микробного сообщества слепого кишечника. Установлено, что скармливание экстрактов цикория, левзеи и зверобоя положительно отражалось на численности таких полезных микроорганизмов, как Streptococcus alactolyticus, Faecalitalea cylindroides, Anaerobutyricum hallii, Blautia и других.*

Ключевые слова: *метагеном, микробиом, NGS-секвенирование, фитобиотики, растительные экстракты, цыплята-бройлеры*

Большой вклад в формирование уровня продуктивности и состояния здоровья сельскохозяйственной птицы вносит структура микробного сообщества кишечника, выполняющая такие функции, как подавление активности патогенов, образование и обмен питательных и биологически активных веществ, участие в формировании иммунного статуса организма [1-3]. У моногастричных животных большое функциональное значение имеет микробиота слепой кишки, поскольку данный биотоп характеризуется наибольшим разнообразием микроорганизмов и содержит важные для пищеварения организма-хозяина целлюлозолитические бактерии [4]. Кроме того, микробиом слепой кишки, как правило, наиболее чувствителен по отношению к влиянию алиментарных факторов [5].

Большое влияние на формирование и стабилизацию микробного сообщества кишечника птицы оказывают кормовые добавки, в том числе фитобиотики – биологически активные соединения растительного генеза, обладающие такими свойствами, как модулирование иммунитета, снижение воспаления, антибактериальное действие [6], достигаемое за счет таких механизмов, как разрушение мембранных структур микробных клеток, нарушение ионного транспорта, ингибирование синтеза нуклеиновых кислот и белков, сокращение резерва АТФ и обеспечение его гидролиза [7].

Исходя из вышеизложенного целью исследования являлся анализ влияния растительных экстрактов с разными функциональными свойствами на структуру кишечного метагенома цыплят-бройлеров.

Материал и методика исследования. Исследования проводили в соответствии с методикой проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы ВНИТИП. На базе вивария РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был проведен зоотехнический эксперимент продолжительностью 35 суток на цыплятах-бройлерах кросса «Смена-9» со случайным соотношением петушков и курочек. Методом сбалансированных групп-аналогов было сформировано 5 групп цыплят по 36 особей в соответствии со схемой опыта, представленной в таблице 1.

Таблица 2

Схема опыта

Группа	Особенности кормления
1 контроль	Полнорационные фазовые комбикорма (ПК)
2 опыт	ПК + экстракт корней цикория обыкновенного (90% инулина) в количестве 450 г/т – «Старт», «Рост», 560 г/т – «Финиш»
3 опыт	ПК + экстракт побегов зверобоя продырявленного (7,3% флавоноидов в пересчете на рутин) в количестве 350 г/т – «Старт», «Рост», 430 г/т – «Финиш»
4 опыт	ПК + экстракт корней левзеи сафлоровидной (0,505% экдистена) в количестве 170 г/т – «Старт», «Рост», 210 г/т – «Финиш»
5 опыт	ПК + экстракт побегов тимьяна ползучего (18,4% дубильных веществ в пересчете на танины и 3,6% флавоноидов в пересчете на рутин) в количестве 200 г/т – «Старт», «Рост», 250 г/т – «Финиш»

Система содержания – клеточная, плотность посадки, температурно-влажностный режим, освещенность, питательность и химический состав комбикормов соответствовали рекомендациям разработчиков кросса.

Для анализа микробного сообщества слепого кишечника цыплят-бройлеров отбирали по 4 особи из каждой группы в возрасте 22 суток, живая масса отобранных особей соответствовала средней массе по группе, отклонение не более 3%. После убоя содержимое кишечника отбирали в пробирка типа Эппендорф с соблюдением условий стерильности.

Молекулярно-генетические исследования проводили в условиях лаборатории прикладной генетики и молекулярной диагностики ФГБНУ ФНЦ ВНИТИП. Микробную ДНК из образцов выделяли с использованием набора HiPure Microbiome DNA Kit согласно протоколу. Микробиом анализировали с применением NGS-секвенирования методом дробовика (Shotgun sequencing). С применением набора с Taq-FS ДНК-полимеразой MGIEasy FS DNA Library Prep Set проводили подготовку библиотек. Готовые библиотеки циркуляризировали при помощи набора реагентов MGIEasy Circularization Module и с применением реагентов и проточной ячейки FCS для запуска секвенатора High-throughput Sequencing Set (PE150, 165 Гб) готовили картриджи и загружали готовые DNB ручным методом. Парноконцевое NGS-секвенирование проводили на автоматическом секвенаторе DNBSEQ-G400, длина прочтения в 150 нуклеотидов.

Биоинформатический анализ таксономической идентификации микроорганизмов проводили с использованием программного обеспечения PFI report software:V5.1.2 database:version: 5.1.1.

Рассчитывали число оперативных таксономических единиц (OTE), индексы биоразнообразия Шеннона и Симпсона, содержание отдельных микроорганизмов в кишечнике в среднем по группе. Математический анализ данных проводили в компьютерной программе IBM SPSS Statistics 23 с применением однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и множественного сравнения с помощью теста Тьюки.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты молекулярно-генетических исследований и биоинформатического анализа полученных данных свидетельствовали об отсутствии статистически значимой разности в значениях числа OTE, которые варьировали от 65 до 86 у разных особей. Не было установлено также достоверной разности относительно средних значений индексов биоразнообразия, что свидетельствует об отсутствии смещения структуры микробного сообщества в сторону доминирования определенного вида бактерий во всех группах цыплят. Однако, структура кишечного микробиома в опытных группах претерпела определенные изменения (рис. 1).

К числу статистически значимых изменений следует отнести рост численности *Streptococcus alactolyticus* – полезной микробиоты, выполняющей в том числе пробиотические свойства, выражаемые в способности подавлять диффузию *Escherichia coli* и снижать ее адгезию к клеткам Caco-2. При использовании в рационе цыплят экстракта цикория,

стандартизированного на инулин, численность этой культуры возросла до 3,66% (p=0,030), в то время как в контрольной группе этот вид отсутствовал.

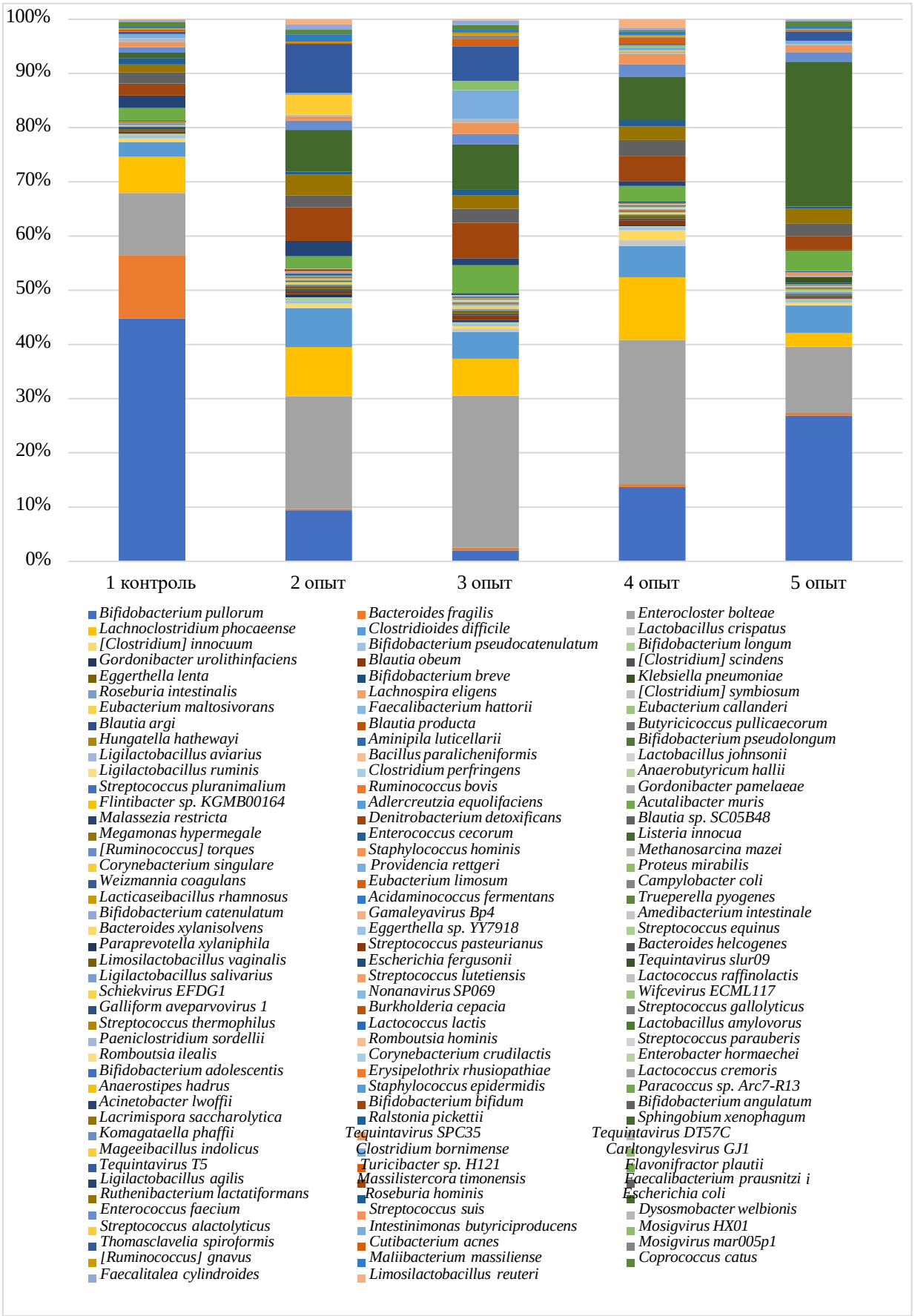


Рис. Структура кишечного метагенома у цыплят-бройлеров при использовании в питании растительных экстрактов, %

Кроме того, использование в кормлении цыплят данного экстракта обеспечило рост численности *Faecalitalea cylindroides* с 0,33% в контроле до 0,98% в данной группе (p=0,023). Этот же микроорганизм развивался в слепой кишке цыплят группы при использовании экстракта зверобоя – его доля составила 0,83%, что статистически значимо выше, чем в контроле (p=0,047). Этот микроорганизм принимает участие в расщеплении и обмене растительных полисахаридов – ксилана и лихенина.

Использование экстракта зверобоя, стандартизированного на флавоноиды в пересчете на рутин, способствовало также развитию таких микроорганизмов, как *Intestinimonas butyriciproducens*, осуществляющего функции преобразования пищевого фруктозолизина в бутират в кишечнике и улучшения обмена глюкозы и состояния тканей, в 7,3 раза – с 0,74% до 5,36% (p=0,011); *Anaerobutyricum hallii*, рассматриваемого как вид микроорганизмов, способных преобразовывать канцероген гетероциклический амин 2-амино-1-метил-6-фенилимидазо[4,5-b]пиридин (PhIP) и блокировать его мутагенный потенциал, в 6,6 раз – с 0,05 до 0,35% (p=0,005); *Massilistercora timonensis*, малоизученного в настоящее время, в 3 раза – с 2,19 до 6,56% (p=0,025). Использование как экстракта зверобоя, так и левзеи сафлоровидной, стандартизированного на экдистен. обеспечило увеличение доли *Blautia obeum* с 0,19% в метагеноме контрольной группы до 0,79 (p=0,001) и 0,75% (p=0,002) в 3-й и 4-й группах соответственно. Данный микроорганизм также обладает пробиотическими свойствами, к числу которых следует отнести ингибирование патогенного механизма холерного вибриона и препятствию его заселению кишечника. Эти же экстракты повышали содержание другого вида рода *Blautia* – *Blautia producta*, утилизирующего углеводы и синтезирующего жирные кислоты с 0,03% в контроле до 0,17% (p=0,019; p=0,023).

Выводы. Таким образом, результаты NGS-секвенирования и таксономического анализа свидетельствовали о возможности изменения микробного профиля кишечника цыплят-бройлеров путем включения в рационы кормления растительных экстрактов. Полученные данные могут служить обоснованием при разработке фитобиотических препаратов для повышения продуктивности и улучшения здоровья кишечника цыплят-бройлеров и другой сельскохозяйственной птицы.

Библиографический список

1. Влияние фитогенной добавки и активированного угля на состав микробиоты кишечника цыплят-бройлеров / В. В. Зайцев, Н. В. Боголюбова, М. С. Сеитов, Н. В. Зайцев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(105). – С. 228-232.

2. Метагеномный анализ биоразнообразия микробиома кишечника птицы до и после медикаментозной нагрузки антибиотиком / О. В. Прасолова, Н. И. Малик, И. А. Тимофеева [и др.] // Ветеринария сегодня. – 2024. – Т. 13, № 4. – С. 373-381.

3. Дуктов, А. П. Влияние метаболитов *Bacillus subtilis* на микробиом пищеварительного тракта цыплят-бройлеров / А. П. Дуктов, А. А. Бахарев, О. В. Ковалева // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2024. – № 27-2. – С. 179-186.

4. Микробиом сельскохозяйственных животных: связь со здоровьем и продуктивностью / Г. Ю. Лаптев, Н. И. Новикова, Е. А. Йылдырым [и др.]. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2020. – 336 с.

5. Сизова, Е. А. Фитобиотики как потенциальные регуляторы функциональной активности микробиома кишечника у цыплят-бройлеров - мини-обзор / Е. А. Сизова, К. С. Нечитайло, С. В. Лебедев // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57, № 6. – С. 1071-1082.

6. Готовский, Д. Г. Изучение эффективности кормовой добавки на основе эфирных масел при патологиях желудочно-кишечного тракта у молодняка животных / Д. Г. Готовский, В. В. Петров, П. П. Красочко // Ветеринарный журнал Беларуси. – 2022. – № 2(17). – С. 8-11.

7. Тимофеев, Н. П. Фитобиотики в мировой практике: виды растений и действующие вещества, эффективность и ограничения, перспективы (обзор) / Н. П. Тимофеев // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т. 22, № 6. – С. 804-825.

СЕКЦИЯ «ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА И БИОБЕЗОПАСНОСТЬ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ»

УДК 619:636.547

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ФОРМЫ МАСТИТОВ У КОРОВ В ООО «МИР»

Горева Эльвира Романовна, *обучающийся ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, Институт «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана», elwira.goreva@yandex.ru*
Стафикопуло Мария Алексеевна, *обучающийся ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, Институт «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана», stafikopulo@internet.ru*
Юсупов Самат Равхатович, *к.в.н., доцент кафедры хирургии, акушерства и патологии мелких животных ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, Институт «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана», jusupows@mail.ru*

Аннотация: *Мастит – это воспаление молочной железы, которое развивается в ответ на проникновение микроорганизмов, нарушение функционирования вымени или грубую дойку. Наиболее часто встречаются серозные, катаральные и субклинические формы мастита, что может быть связано с грубой машинной дойкой и неправильной эксплуатацией животных.*

Ключевые слова: *корова, молочная железа, мастит, распространение, этиология*

Мастит – это воспаление молочной железы, которое развивается в ответ на проникновение микроорганизмов, травмы, нарушение нормального функционирования вымени или грубую дойку [1]. Заболевание приводит к снижению удоев, ухудшению качества молока и преждевременной выбраковке животных [2]. Мастит является одним из самых распространенных заболеваний молочного скота вовсем мире, при разовом обследовании стада может быть выявлен у5-36% поголовья [3,4]. Всвязи с тем, что некоторые животные переболевают два раза и более, заболеваемость коров в течение года иногда достигает68% [5]. Различают следующие формы маститов: серозный, катаральный (катар цистерн и крупных молочных ходов, катар альвеол), фибринозный, гнойный (гнойно-катаральный, абсцесс вымени, флегмона вымени), геморрагический, специфические маститы (актиномикоз вымени, туберкулез вымени, ящур вымени), осложнениями которых могут явиться индурация и гангрена вымени [6,7].

Целью работы явилось изучение распространения заболеваний молочной железы у корови определение наиболее часто встречаемых форм маститов.

Материалы и методы. Исследования проводились в молочно-товарном комплексе ООО «Мир» Елабужского района Республики Татарстан. Объектом исследования стали 2400 коров голштинофризской породы.

Результаты исследования. При диспансеризации коров было выявлено 64 случая клинического и субклинического мастита у коров дойного стада. Чаще всего встречались субклинические, серозные и катаральные формы мастита.

Субклинический мастит протекает без видимых клинических признаков. Для его диагностики в молочную пластину сдаивали по 2 мл молока из соответствующей четверти и добавляли 2 мл кенотеста. У больных коров наблюдали изменения цвета (неравномерное темно красное окрашивание) и консистенции (образование желеобразных сгустков). Из 64 выявленных случаев мастита 14 являлись субклиническими.

Серозное воспаление вымени характеризуется гиперемией, большим выпотом серозного экссудата и эмиграцией лейкоцитов преимущественно в междольковую ткань. Этот вид воспаления вымени развивается после травм, вследствие несоблюдения технологии машинного доения, как осложнение застойного отека, при проникновении инфекции через кожные покровы, гематогенным или лимфогенным путем из половых органов, желудочно-кишечного тракта. Поражённые четверти увеличивались в объёме (иногда в 1,5 – 2 раза), становились плотными, болезненными при пальпации. Кожа над ними была гиперемирована (покрасневшая), местная температура повышена. Соски иногда были увеличены, также гиперемированы. По мере прогрессирования воспаления молоко становилось более жидким, в нём появлялись хлопья и сгустки казеина. Было выявлено 17 случаев заболевания серозным маститом.

При катаральном мастите наблюдается перерождение железистого и покровного эпителия, его отторжение, а также выпотевание экссудата и миграцией лейкоцитов, преимущественно, на поверхность слизистой оболочки цистерны и молочных ходов. Закупорка молочных ходов сгустками казеина нередко приводило к образованию плотных узлов, а затем ретенционных кист. Характерным признаком данной формы мастита было выделение секрета серого цвета водянистой консистенции с примесью хлопьев казеина. Катаральный мастит встречался в 20 случаях.

На оставшиеся 13 случаев приходилось:

—3 случая гнойно-катарального мастита. Эта форма характеризовалась тем, что пораженная четверть вымени была отечной, плотной, болезненной и горячей на ощупь, а секрет приобретал желто-серый или красноватый оттенок, содержал обильные хлопья фибрина, сгустки казеина и примесь гноя, что делало его непригодным к употреблению и опасным для распространения инфекции;

—2 случая гнойного мастита:

1. Флегмона вымени. При этой форме пораженная четверть вымени становилась диффузно припухшей, каменисто-плотной, резко болезненной, с горячей, напряженной и покрасневшей кожей, тогда как секрет в начале заболевания был нормальным или слегка водянистым, но по мере прогрессирования появлялись хлопья, гнойные нити и примесь крови;

2. Абсцесс вымени. В толще молочной железы сформировалась ограниченная гнойная полость с плотной капсулой, которая на ранних стадиях проявлялась как твердый, болезненный, локально горячий узел с последующим размягчением в центре и флюктуацией. Секрет из соска пораженной четверти долгое время был внешне нормальным, а затем содержал незначительное количество хлопьев и нитей гноя. При прорыве абсцесса из вымени внезапно выделилось большое количество густого, желто-зеленого, сливкообразного гноя с неприятным запахом.

—5 случаев фибринозного мастита. Он характеризуется выпотеванием на поверхность слизистой оболочки цистерн и ходов плотного беловато-желтого фибринозного экссудата, который быстро сворачивается в нити, пленки и рыхлые пробки, из-за чего пораженная четверть вымени становится умеренно увеличенной, очень плотной, резко болезненной, но без типичной флюктуации, местная температура сильно повышена, а надвыменный лимфоузел увеличен; Секрет изменился - из пораженной четверти выделилась скудная, водянистая, желтоватая или розоватая жидкость с огромным количеством плотных творожистых хлопьев, фибринозных сгустков;

—3 случая геморрагического мастита. Пораженная четверть была плотная, резко болезненная, отечная, с багрово-синюшной окраской кожи и нередко с участками некроза, вместо молока из соска выделилась водянистая, грязно-красная жидкость, содержащая огромное количество разрушенных эритроцитов, сгустки крови, разорванные хлопья фибрина и примесь гноя.

Результаты распространения маститов среди дойных коров представлены на диаграмме.



Рис. Распространенность различных форм мастита у коров

Среди разных причин возникновения маститов можно отметить переохлаждения, травмы, ушибы, бактерии, нарушения правил доения и неправильная эксплуатация доильного оборудования. В меньшей степени оказывают влияние на заболеваемость коров маститами: микроклимат коровника, конструкция боксов, возраст, стадия лактации, нарушения норм кормления, гигиена доения, содержания коров и непригодность некоторых коров к машинному доению. Можно выделить влияние доильного аппарата на развитие заболевания мастита, как механического раздражителя, обостряющего скрытую форму или вызывающего первичное заболевание молочной железы, контактного переносчика инфекции от больных животных к здоровым. В современных условиях молочного скотоводства важным является правильный выбор и эксплуатация доильных машин.

Заключение. Современные научные данные подтверждают, что мастит является основной проблемой молочного животноводства во всех странах мира. При усиленном контроле за исполнением комплекса мер становится возможным сократить количество случаев возникновения клинического и субклинического мастита у коров. Специфическая профилактика является самым действенным способом борьбы с маститом, однако формирование стойкого и напряженного иммунитета можно достичь только при строгом соблюдении определенного перечня зоогигиенических и технологических требований.

Библиографический список

1. Андрианов, А. А. Машинное доение коров и заболеваемость коров маститом / А. А. Андрианов, Д. О. Вараксин // Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции : Материалы IX международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора, доктора ветеринарных наук Н.М. Алтухова, Воронеж, 01 января – 31 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2025. – С. 286-290.

2. Кошелева, Д. Д. Скрытый мастит у коров: современные методы лечения в АО "Щелкунское" в 2021 г / Д. Д. Кошелева // Молодежь и наука. – 2022. – № 2.

3. Щербаков, П. Н. Диагностико-лечебные мероприятия при мастите у коров / П. Н. Щербаков, Т. Н. Шнякина, К. В. Степанова // Обеспечение продовольственной безопасности в современных условиях. Роль сотрудничества России и Узбекистана в обеспечении продовольственной безопасности : материалы Международного круглого стола, Уссурийск, 08 февраля 2023 года / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Приморская государственная сельскохозяйственная академия». – Уссурийск: ФГБОУ ВО Приморская ГСХА, 2023. – С. 181-185.

4. Юсупов, С. Р. Патология молочной железы у коров в молочно-товарных комплексах / С. Р. Юсупов, Н. В. Шамсутдинова, Д. Ф. Валиуллина. – Казань : Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2019. – 34 с.

5. Чекрышева, В. В. Диагностика и рациональные методы терапии при клиническом мастите коров : специальность 06.02.06 "Ветеринарное акушерство и биотехника репродукции животных" : диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Чекрышева Виктория Владимировна. – Краснодар, 2013. – 203 с.

6. Ляшенко, Е. М. Эффективность схем лечения для коров, больных серозным маститом / Е. М. Ляшенко // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны : материалы XIY международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященные 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Санкт-Петербург, 27–28 ноября 2025 года. – Санкт-Петербург: ИП Перевощикова Юлия, 2025. – С. 308-309.

7. Музыченко, П. И. Сравнительная оценка лечения коров, больных маститом / П. И. Музыченко // Молодежные разработки и инновации в решении приоритетных задач АПК : Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и учащейся молодежи, профессора И.Н. Никитина, Казань, 28–29 марта 2024 года. – Казань: Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2024. – С. 116-119.

УДК: 683.121-341.735

ПРОЯВЛЕНИЕ ФАГОЦИТОЗА ПЧЕЛ ПРИ ВАРРОАТОЗАНОЙ ИНВАЗИИ НА ФОНЕ ЛЕЧЕНИЯ АКАРИЦИДНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ С АДАПТОГЕНОМ

***Смирнова Евгения Борисовна**, преподаватель, направление подготовки 36.05.01 «Ветеринария», Технологического колледжа, ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, pavel9444@gmail.com*

***Аннотация:** Эффективным способом, способствующим снижению заклещеванности пчел клещем Varroa jacobson и повышению фагоцитарной активности гемоцитов является аэрозольный препарат Апизол в комплексе с адаптогеном «Нэнни 2 с пребиотиком».*
***Ключевые слова:** пчелы, заклещеванность, фагоцитарная активность, гемоциты, адаптоген, апизол, битин, муравьинка, байварол.*

Варроатоз (варрооз) характеризуется массовой гибелью личинок, куколок и взрослых пчел. Его редко удается обнаружить на начальной стадии. Весной и осенью клещ поражает пчелиный приплод, а летом - трутневый. живет на трупах пчел, трутней, куколок 11 дней, на открытом расплоде 15 и на запечатанном - 32 дня. Методы лечения не обеспечивают полного избавления от варроатоза на пасеке, но позволяют сократить уровень заклещеванности определенных семей. В этой связи сегодня большое количество работ посвящены поиску эффективных методов борьбы с варроатозом пчел. Однако варроатоз по настоящее время остается огромной проблемой в пчеловодстве. [1, 2, 3, 4, 5].В этой связи **целью** настоящего исследования является – оптимизация механизмов восстановления клеточного звена иммунной защиты гемолимфы пчел разными акарицидными препаратами с адаптогеном.

Объектом исследования были пчелы среднерусской и карпатской породы, весенней генерации, которые содержались в ульях Дадана-Блатта, в условиях пчеловодческих хозяйств Бирского района республики Башкортостан и на учебно-опытной пасеке РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Лабораторные исследования проводились в условиях лабораторий кафедры аквакультуры и пчеловодства, кафедры микробиологии и иммунологии. Были сформированы 6 групп пчел среднерусской и карпатской породы. Пчелы 1 группы были контрольные –

здоровые, 2- 6 групп, пораженные варроатозной инвазией средней степени заклещеванности. С пчелами 1 и 2 групп никакие дополнительные манипуляции не проводились. Они находились в одинаковых условиях с опытными. В качестве адаптогена в 3-6 опытных группах использовали детское питание «Нэнни 2 с пребиотиком». В 3 группе применяли препарат апизол (экстракт эфирных масел) в виде аэрозоли. Его устанавливали в лоток, нажимали 1 раз и выдерживали 1-2 сек. Курс повторяли 4-5 раз с интервалом в 3-4 дня. В 4 группе применяли препарат Бипин-Т, (акарицидный-амитраз) с тимолом. Он содержится в ампуле 0,5мл -10 доз. 1 мл бипина растворяли в 40 мл воды (эмульсия). Распыляли с помощью дымовой пушки через лоток. 2- кратно с интервалом в 2 недели. Препарат безвреден для пчел, но вреден для человека, поэтому работали в маске. В 5 группе применяли препарат Байварол (акарицидный флеметрин). Это полимерные полоски. Их помещали в улей на 25 сут. при наличии расплода и на 2 – 3 суток – при его отсутствии. В 6 группе использовали препарат «Муравьинка» (в пакетиках с 30 г муравьиной кислоты). 1 пакет использовали на 1 хорошую пчелосемью (5-10 улочек). Пакеты раскладывали сверху рамки. Содержимое испаряется в течении 5 дней. Потом удаляли. Обрабатывали в хорошую погоду (в плохую пчелы «включают» вентиляцию в улье. Работали в респираторе и перчатках.

Для определения фагоцитарной активности гемоцитов гемолимфы пчел: в пробирку, содержащую суточную культуру *Staphylococcus aureus* в объеме 1 мкл, добавляли 1мкл гемолимфы, перемешивали и инкубировали в термостате при t 37°С в течение 30 мин. Фагоцитарный индекс (число гемоцитов, участвующих в фагоцитозе) и фагоцитарное число (среднее число объектов, поглощенных одним гемоцитом) определяли по поглотительной активности в реакциях фагоцитоза [2,5].

Фагоцитарная активность (ФА) гемоцитов гемолимфы пчел среднерусской породы 1 контрольной группы в 10 сут. возрасте пчел составила 43,4%. Она увеличивалась в возрастном аспекте, превысив данные предыдущего срока исследования в 16, 20 и 30 сут. возрасте в 1,15; 1,26 и 1,32 раза. ФА гемоцитов гемолимфы пчел контрольной группы карпатской породы, во все сроки исследований, была ниже, по сравнению с их активностью у пчел среднерусской породы: в 10, 16, 20 и 30 сут. возрасте: в 1,16; 1,17; 1,13 и 1,07 раза (на 6,2; 7,3; 6,5 и 3,8 %) и она также, как и у среднерусских, увеличивалась в возрастном аспекте. В 10 сут. возрасте она составила 37,2%, а в 16, 20 и 30 сут. возрасте превысила этот показатель 1,14; 1,29 и 1,44 раза.

ФА гемоцитов пчел 2 группы, больных варроатозной инвазией, была значительно ниже, по сравнению с данными пчел контрольной группы. Это было характерно и в группах среднерусских и в группах карпатских пчел. ФА пчел среднерусской породы 10, 16, 20 и 30 сут. возраста исследований уступала данным здоровых пчел 1 контрольной группы в 1,38; 1,89; 2,98 и 3,82 раза. По карпатской породе эта разница с контролем составила соответственно в 1,34; 2,1; 3,0 и 4,28 раза. В возрастном аспекте внутри пород регистрировалось выраженное снижение ФА гемоцитов пчел, подвергнутых варроатозной инвазии. Показатель ФА пчел среднерусской породы к 10 сут. возрасту составил 31,3%. А данные пчел 16, 20 и 30 сут. возраста были ниже в 1,19; 1,7 и 2,08 раза. По карпатской породе ФА пчел 2 группы, 10 сут. возраста, составила 27,7%, что было ниже, по сравнению с показателем среднерусских пчел в 1,13 раза. В последующие возрастные периоды (16, 20 и 30 сут.) они уступали первоначальному показателю в 1,37; 1,73 и 2,21 раза. Следовательно, варроатозная инвазия значительно подав-ляет в организме пчел защитные механизмы клеточной защиты.Учитывая значительное снижение механизмов клеточной защиты гемоцитов гемолимфы пчел на фоне варроатозной инвазии были проведены исследования ряда акарицидных препаратов.

Более высокое акарицидное действие на организм пчел, способст-вующее восстановлению ФА гемоцитов гемолимфы оказало применение препарата Апизол в комплексе с адаптогеном «Нэнни 2 с пребиотиком» (3 группа). У пчел среднерусской породы 10 сут. возраста ФА гемоцитов была ниже показателя пчел 1 контрольной группы в 1,13 раза (на 5,2%), но уже превышала данные больных пчел 2 группы в 1,22 раза (на 6,9%). В последую-щие возрастные периоды пчел среднерусской породы 3 группы эта тенденция активно

нарастала. У пчел 16, 20 и 30 сут. возраста показатель ФА гемоцитов уступал данным контроля в 1,13; 1,1 и 1,09 раза, но был выше их значений у пчел 2 группы в 1,67; 2,69 и 3,48 раза (на 17,7; 31,2 и 37,2%). При этом ФА гемоцитов гемолимфы среднерусских пчел 2 группы в 16, 20 и 30 сут. возрасте была выше, по сравнению с первоначальным уровнем 10 сут. пчел, соответственно, в 1,15; 1,29 и 1,36 раза.Также самые лучшие результаты повышения ФА гемоцитов гемолимфы отмечались под влиянием препарата Апизол с адаптогеном у пчел карпатской породы. Но при этом данные по карпатской породе были ниже, по сравнению с результатами, полученными по среднерусской породе пчел. На эти сроки исследований по карпатской породе ФА гемоцитов гемолимфы была ниже их значения у здоровых пчел 1 группы в 1,15; 1,18; 1,11 и 1,11 раза (на 4,9; 6,7; 8,9 и 9,9%), но превысила данные больных пчел 2 группы в 1,16; 1,77; 2,7 и 3,84 раза.

Хорошие результаты по активизации ФА гемоцитов показал препарат Битин в комплексе с адаптогеном «Нэнни 2 с пребиотиком» (4 группа). Однако данные ФА гемоцитов пчел 4 группы, во все сроки исследований, были ниже, по сравнению с их значениями у пчел 3 группы. У пчел 10, 16, 20 и 30 сут. возраста ФА гемоцитов по 4 группе была ниже, по сравнению с их уровнем по 3 группе: по среднерусской породе пчел в 1,07; 1,09; 1,07 и 1,06 раза (на 2,54; 3,6; 3,6 и 3,3%), по карпатской породе в 1,09; 1,12; 1,09 и 1,1 раза (на 2,9; 3,9; 3,8 и 4,4%). При этом данные по карпатской породе пчел 4 группы были выше, по сравнению с данными больных пчел 2 группы, на эти же возрастные периоды, в 1,06; 1,58; 2,46 и 3,49 раза (на 1,7; 11,8; 23,4 и 31,1%). Также хорошие показатели по активизации ФА гемоцитов гемолимфы регистрировались в 6 группе. Показатели пчел этой группы были очень близкими с данными пчел 4 группы. То есть активность действия препаратов Битин и Муравьинка (также с адаптогеном) была примерно одинаковой. Следовательно, препараты Битин и Муравьинка могут мыть вполне взаимозаменяемыми.

Более низкие показатели ФА гемоцитов гемолимфы наблюдались по 5 группе, в которой применяли в качестве акарицидного препарата Байварол С с адаптогеном. Здесь ФА гемоцитов пчел 10, 16, 20 и 30 сут. возраста по среднерусской породе была ниже, по сравнению с показателями пчел 1 контрольной группы, в 1,29; 1,32; 1,33 и 1,28 раза, по карпатской породе пчел – в 1,42; 1,49; 1,33 и 1,4 раза. Однако препарат Байварол в комплексе с адаптогенами обладал определенной акарицидной активностью и способствовал повышению активности фагоцитов, хотя показатели были ниже, по сравнению с другими, исследованными препаратами.

Наиболее эффективным препаратом из изученных, обладающий хорошим акарицидным действием в отношении Varroa jacobsoni, активизирующим клеточное звено иммунных механизмов гемолимфы пчел, является препарат Апизол в комплексе с адаптогеном «Нэнни 2 с пребиотиком».

Библиографический список

1 Гайфуллина, Л.Р. Иммуностимулирующее действие спорообразующего препарата ветеспорина на медоносную пчелу / Л.Р. Гайфуллина, Е.С. Салтыкова, Р.Т. Матниязов, А.Г. Николенко / Сборник научных трудов РГАУ-МСХА им.Тимирязева, Москва, 2016. - 33 с.

2 Маннапов А.Г. Влияние препарата апиник на биологические показатели, микробиоценоз и зимовку пчел / А.Г.Маннапов, О.С.Ларионова / Пчеловодство. – 2011. – № 8. – С. 22-24.

3 Морева, Л.Я. Влияние стимулирующих подкормок и ветеринарных обработок на рост и развитие медоносных пчёл на юге России / Л.Я. Морева, Р.К. Мегес / Сборник научных трудов РГАУ-МСХА им.Тимирязева. - Москва, 2016. - 271 с.

4 Московская, Н.Д. Иммунно-физиологические показатели пчелиных особей / Н.Д. Московская, А.Г. Маннапов // Сборник статей по материалам XXXIV международной научно-практической конференции. – Москва. – 2018. – С. 29-33

5 Маннапова, Р.Т. Восстановление функционально детерминированных изменений нормофлоры и фагоцитоза при варроатозной инвазии пчел / Р.Т. Маннапова, Е.Б. Смирнова, Ю.Н. Кутлин // Известия Дагестанского ГАУ.- № 1(17).- 2023.- С 119-123

УДК 619:615.9:636.5

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕНОСИМОСТИ МОНЕНЗИНА 40% В ДОЗАХ, ПРЕВЫШАЮЩИХ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ, У ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

***Рябова Ирина Павловна**, аспирант кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, smailik1.stydio@gmail.com*
***Лысенко Юрий Андреевич**, профессор кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, доктор биологических наук, доцент, yuraduban45@mail.ru*

***Аннотация:** Объектом исследования являлся лекарственный препарат Монензин 40% для профилактики кокцидиоза птиц. Цель - изучить его переносимость на цыплятах-бройлерах при пероральном введении в терапевтической и повышенных дозах однократно и многократно. Установлено, что препарат не вызывает нарушений органов, интоксикации и токсического воздействия, хорошо переносится цыплятами-бройлерами.*

***Ключевые слова:** Лекарственный препарат, доза, переносимость, цыплята-бройлеры, монензин, клиническое состояние, живая масса, общий анализ крови, биохимический анализ крови*

Современное промышленное птицеводство сталкивается с серьезными вызовами, связанными с обеспечением здоровья поголовья и защитой от паразитарных инвазий. Одной из наиболее значимых проблем является кокцидиоз - заболевание, вызываемое простейшими рода Eimeria, которое приводит к значительным экономическим потерям вследствие снижения продуктивности, ухудшения конверсии корма и возможной гибели птицы. В связи с этим актуальной задачей является внедрение в ветеринарную практику высокоэффективных и безопасных антикокцидийных препаратов [1-7].

Целью настоящего исследования является проведение комплексной оценки переносимости и безопасности лекарственного препарата Монензин 40% у цыплят-бройлеров. Исследование направлено на изучение влияния препарата в терапевтической и повышенных дозах при различных режимах перорального введения. В задачи работы входило формирование опытных групп, мониторинг клинического состояния, оценка динамики живой массы, а также изучение гематологических и патоморфологических показателей для исключения возможного токсического воздействия на организм целевых животных.

Объектом исследования являлся лекарственный препарат для ветеринарного применения Монензин 40%, содержащий в качестве действующего вещества монензин в форме натриевой соли 400 мг. Международное непатентованное наименование (МНН) - монензин. Лекарственная форма - порошок для приема внутрь. В 1 г препарата в качестве действующего вещества содержится монензин в форме натриевой соли 400 мг, а также вспомогательные вещества. Срок годности - 2 года с даты производства. Условия хранения: в закрытой упаковке производителя, отдельно от продуктов питания и кормов, в защищенном от прямых солнечных лучей месте, при температуре от 2 до 25 °С.

Фармакотерапевтическая группа — антикокцидийный лекарственный препарат. Препарат относится к группе полиэфирных ионофорных антибиотиков. Монензин натрия обладает широким спектром кокцидиостатического действия и активен в отношении всех видов кокцидий (эймерий), паразитирующих у птиц, включая E. necatrix, E. tenella, E. acervulina, E. brunetti, E. maxima, E. mivati, E. praecox, E. gallopavonis, E. meleagrimitis, E. adenoids, E. dispersa. Механизм действия связан с нарушением переноса катионов натрия и

калия у неполовозрелых форм кокцидий, что приводит к их гибели на стадии шизогонии. При пероральном введении монензин практически не всасывается в желудочно-кишечном тракте и оказывает действие на слизистой и подслизистой оболочках. Выводится из организма в неизменном виде, главным образом, с фекалиями в течение 2–3 дней. Порядок применения — с кормом в дозе 250 г препарата на 1 тонну корма (100 мг монензина натрия на 1 кг корма).

Для исследования использовали серию Э11011224 (дата изготовления 11.12.2024 г., срок годности 2 года), производитель ООО «НПК «Асконт+» (Россия).

Исследования проводили на цыплятах-бройлерах кросса Росс 308 в возрасте 9 суток (средняя живая масса 267,08 г). Общее количество голов — 40 (по 10 голов в каждой группе). Ветеринарное свидетельство № 33193752041 от 17.02.2026 г. Место проведения — Центр доклинических и клинических исследований лекарственных ветеринарных препаратов ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва).

Перед началом опыта проводили карантин и акклиматизацию в течение 5 дней с ежедневным клиническим контролем. Все цыплята были клинически здоровы. Каждому цыпленку присвоили индивидуальный номер и идентифицировали биркой (меточным кольцом) на лапе. Содержание — в специализированных клеточных батареях с автоматической подачей воды через ниппельные поилки. Кормление осуществляли вручную полнорационными комбикормами ПК 5-0, ПК 5 и ПК 6 (премиум-класса Naturino). Параметры микроклимата: температура 16,0–32,0 °С, влажность 48–62 %. Условия соответствовали зоогигиеническим нормам [1].

Исследование одобрено комиссией по биоэтике ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева (протокол № 66 от 14.11.2025 г.). В соответствии с планом доклинического исследования № ДКИ-М-2/02-2026 сформировали четыре группы:

Опытная группа 1 - 500 мг монензина натрия/кг корма однократно (в 5 раз выше терапевтической);

Опытная группа 2 - 100 мг/кг корма в течение 40 суток (терапевтическая доза);

Опытная группа 3 - 150 мг/кг корма в течение 40 суток (в 1,5 раза выше терапевтической);

Контрольная группа - без препарата.

Препарат вводили в комбикорм путем ступенчатого смешивания ежедневно. Учитывали: общий клинический статус (ежедневно), живую массу (на 1-е, 25-е и 40-е сутки), клинический и биохимический анализ крови (на 40-е сутки) с применением стандартных гематологических исследований, принятых в ветеринарной диагностической практике [2], патологоанатомическое вскрытие. Статистическую обработку выполняли в Microsoft Excel 2019 с использованием критерия Стьюдента ($p \leq 0,05$).

На протяжении всего периода клинического наблюдения (с 9-х по 48-е сутки жизни) при введении препарата Монензин 40% в комбикорм в изучаемых дозах падежа птицы не наблюдалось. Сохранность поголовья во всех группах составила 100,0 %. Клинических признаков интоксикации (угнетения, снижения физической активности, взъерошенности пера, синюшности гребешка и слизистых оболочек) не отмечено. Подопытная птица всех групп оставалась активной, хорошо поедала комбикорм и употребляла воду. Результаты взвешивания и сохранности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты взвешивания и сохранности цыплят-бройлеров (n=10), M±m

Показатель	Группа			
	К	О1	О2	О3
Количество голов (начало/конец)	10/10	10/10	10/10	10/10
Сохранность, %	100	100	100	100
Живая масса 1-е сутки, г	264,00±3,51	269,10±4,55	266,90±5,17	268,30±4,37
25-е сутки опыта (33-е сутки жизни), г	2078,40±12,34	2069,50±16,14	2084,20±18,6	2071,90±15,84

40-е сутки опыта (48-е сутки жизни), г	3510,60±25,29	3522,60±18,45	3518,60±21,67	3542,40±22,8
Прирост за период, г	3246,60	3253,50	3251,70	3274,10

Анализ динамики живой массы показал, что применение препарата в терапевтической и повышенных дозах не оказывало угнетающего действия на рост и развитие цыплят-бройлеров. Статистически достоверных различий по живой массе между опытными и контрольной группами не выявлено. Прирост живой массы за весь период в опытных группах был сопоставим с контролем или незначительно превышал его (от +0,16 % до +0,85 %).

На 40-е сутки опыта (48-е сутки жизни) проведены общий и биохимический анализы крови. Все гематологические и биохимические показатели в опытных группах (лейкоциты, эритроциты, гемоглобин, тромбоциты, АСТ, АЛТ, ЩФ, глюкоза, креатинин, общий белок, билирубин, мочевая кислота, холестерин, кальций, фосфор) находились в пределах физиологической нормы и не имели существенных отличий от контрольной группы (таблица 2).

Таблица 2

Результаты ОАК и БАК у цыплят-бройлеров на 40-е сутки (n=10), M±m

Показатель	Группа			
	К	О1	О2	О3
Общий анализ крови				
Лейкоциты, 10^9/л	42,94±0,95	43,51±1,35	44,35±1,20	43,29±1,13
Эритроциты, 10^{12}/л	2,61±0,07	2,62±0,05	2,68±0,05	2,55±0,06
Гемоглобин, г/л	119,60±2,68	122,10±2,47	120,40±2,05	125,80±2,51
Тромбоциты, 10^9/л	62,98±1,82	61,03±1,87	63,29±1,72	60,19±1,28
Биохимический анализ крови				
АСТ, Ед/л	284,35±12,21	291,38±13,05	293,24±13,26	281,73±11,79
АЛТ, Ед/л	5,85±0,33	5,35±0,31	6,49±0,35	5,96±0,31
ЩФ, Ед/л	184,97±2,73	183,77±2,57	180,33±1,96	181,68±2,06
Глюкоза, ммоль/л	14,83±0,63	15,66±0,66	15,01±0,49	16,3±0,38
Креатинин, ммоль/л	44,18±1,17	43,35±0,76	42,43±0,76	45,42±0,78
Общий белок, г/л	33,16±1,15	34,02±0,99	31,8±1,09	32,68±1,24
Общий билирубин, мкмоль/л	1,3±0,18	1,05±0,14	1,32±0,20	1,3±0,17
Мочевая кислота, мкмоль/л	227,14±11,67	237,33±11,39	215,74±11,70	209,8±13,6
Холестерин, ммоль/ л	3,87±0,18	4,02±0,15	3,9±0,10	4,05±0,17
Кальций, ммоль/л	3,24±0,07	3,14±0,08	3,09±0,05	3,3±0,03
Фосфор, ммоль/л	2,59±0,10	2,78±0,09	2,72±0,09	2,83±0,10

При патологоанатомическом вскрытии птицы всех групп существенных изменений в органах и тканях не установлено независимо от дозы и кратности применения препарата. Органы располагались анатомически правильно, без смещений, заворотов или выпадений. Серозные оболочки гладкие, блестящие, без наложений фибрина или кровоизлияний. Все отделы желудочно-кишечного тракта, печень, почки, Фабрициева сумка и другие органы соответствовали физиологической норме: слизистые оболочки бледно-розовые, влажные, без гиперемии, эрозий, язв или налетов; паренхима органов однородная, без очагов некроза, кровоизлияний или дистрофии.

По результатам исследований лекарственный препарат Монензин 40% при введении в комбикорм в дозе 500 мг монензина натрия/кг корма (однократно, в 5 раз выше терапевтической), 100 мг/кг корма (терапевтическая доза в течение 40 суток) и 150 мг/кг корма (в 1,5 раза выше терапевтической в течение 40 суток) не оказывает выраженного токсического

действия на организм цыплят-бройлеров. Летальных исходов, признаков интоксикации, функциональных и морфологических нарушений органов и систем, а также интоксикационного синдрома не выявлено. По результатам клинического наблюдения, динамики живой массы, общего и биохимического анализов крови, а также патологоанатомического вскрытия токсического воздействия препарата не установлено. Лекарственный препарат Монензин 40% хорошо переносится целевыми животными (цыплятами-бройлерами). Передозировки в изученных дозах не выявлено. Патологоанатомическая картина соответствует физиологической норме.

Лекарственный препарат для ветеринарного применения Монензин 40% относится к числу безопасных лекарственных средств и характеризуется хорошей переносимостью. Полученные результаты подтверждают безопасность применения препарата в рекомендуемом режиме и кратности дозирования.

Библиографический список

1. Справочник по выращиванию бройлеров «Росс». Aviagen, 2018. 140 с.

2. Кондрахин И.П. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. М.: Колосс, 2004. 520 с.

3. Федеральный закон «Об обращении лекарственных средств» от 12.04.2010 № 61-ФЗ.

4. Приказ Минсельхоза России от 14 марта 2025 г. № 153.

5. Приказ Минсельхоза России от 6 марта 2018 г. № 101 (с изменениями на 5 июня 2020 г.).

6. ГОСТ 7.32-2017. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ, 2017. 27 с.

7. Методические указания по оценке безопасности ветеринарных препаратов. – М.: ФГБУ «ВГНКИ», 2020.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ, ПОСВЯЩЕННОЙ 155-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЁНОГО В ОБЛАСТИ ЖИВОТНОВОДСТВА, АКАДЕМИКА ВАСХНИЛ МИХАИЛА ФЁДОРОВИЧА ИВАНОВА, Г. МОСКВА, 27-29 Апреля 2026 Г.

Сборник статей. Том 1

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор В.В. Малородов

Подписано к изданию 17.09.2026.
Объем данных 12,5 Мб.
Тираж 10 экз.

ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева
127434 Москва, ул. Тимирязевская, 49