



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

Коллективная монография

МОСКВА 2022

УДК 632
ББК 40.4
А 26

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Российского государственного аграрного университета–
МСХА имени К.А. Тимирязева*

Научный редактор

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры химии
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
Белопухов Сергей Леонидович

Рецензенты

Воронов Сергей Иванович, доктор биол. наук, профессор,
чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр «Немчиновка»;

Верниченко Игорь Васильевич, доктор биол. наук, профессор
кафедры агрономической, биологической химии и радиологии,
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА : коллективная монография. –
Москва: РГАУ-МСХА, 2022. – 582 с. – ISBN 978-5-9675-1951-2

Монография подготовлена коллективом авторов по итогам заседания круглого стола института Агробиотехнологий РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. В работе представлены исследования отражающие направления научных исследований сотрудников института и коллег из других организаций. Отражены агроклиматические исследования, работы по оценке плодородия почв при длительном окультуривании и оценки состояния органического вещества, селекционные достижения и биотехнологии, рассмотрены вопросы использования и оценки применения удобрений, регуляторов роста, биостимуляторов, представлен опыт точного земледелия и проведения длительных опытов, качества сельскохозяйственной продукции и ее химического состава.

ISBN 978-5-9675-1951-2

© 2022 РГАУ-МСХА

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОРЫ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. АГРОНОМИЧЕСКАЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И РАДИОЛОГИЯ .	17
1.1. Биостимуляторы как средство управления продукционным процессом зерновых культур	17
1.2. Влияние различных свойств почвы на урожай и использование растениями азота удобрений и почв различной степени окультуренности (с использованием почв длительного опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)	28
1.3. Совершенствование исследований по изучению эффективности удобрений в современных условиях	40
1.4. Формирование урожая и качества яровой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания	50
1.5. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна злаковых культур	62
1.6. Оценка скорости переагрегирования почвенной массы по изменению самопоглощения β -излучения ^{137}Cs . «время жизни» почвенного агрегата.	75
2. БИОТЕХНОЛОГИИ.....	100
2.1. Технологии выращивания инулинсодержащих растений <i>in vitro</i>	100
2.2. Изучение накопления флавоноидов в асептической культуре чабера садового (<i>Satureja hortensis</i> L.)	109
2.3 Изучение влияния различных факторов на культивирование альтернантеры Райнека (<i>Alternanthera reineckii</i> Briq.) <i>in vitro</i> и <i>ex vitro</i> ...	123
2.4. Получение наночастиц металлов и оксидов металлов методом зелёного синтеза, оценка их свойств и перспективы применения.....	131
3. ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО	140
3.1. Селекция озимой тритикале в РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева: история, особенности, достижения	140
3.2. Селекция озимой пшеницы	149
3.3. Селекция зернобобовых культур.....	151
3.4. Селекция зернокармливых культур	155
3.5. Аллельный полиморфизм гена азотного обмена TAGRF3-2A и его фенотипическое проявление у озимой мягкой пшеницы	159

3.6. Влияния регуляторов роста на основные цитологические характеристики злаковых культур	166
3.7. Разработка методик определения сортовых качеств семян сельскохозяйственных растений для стран Евразийского экономического союза.....	172
3.8. Селекция зернобобовых культур в лаборатории селекции генетики и семеноводства им. П.И. Лисицына.....	176
4. ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ	181
4.1. Актуальный фитосанитарный мониторинг некоторых вредных организмов на картофеле.....	181
4.2. Совершенствование фитосанитарного мониторинга важнейших болезней и вредителей яблони и груши в условиях центрального региона нечерноземной зоны	227
5. ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И МЕТОДИКА ОПЫТНОГО ДЕЛА	270
5.1. Мониторинг плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности агробиоценозов при длительном окультуривании	270
5.2. Научные и практические аспекты технологии точного земледелия в полевом опыте цтз.....	292
6. МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ.....	316
Гидрометеорологическое обеспечение продукционного процесса сельскохозяйственных культур в полевых опытах РГАУ-МСХА.....	316
6.1. Климат, как исходный системообразующий фактор среды обитания растений.....	316
6.2. Тепловой режим территории «Петровско-Разумовское»	329
6.3. Режим увлажнения территории «Петровско-Разумовское».....	342
6.4. Климатические нормы основных метеорологических показателей, рассчитанные по многолетним наблюдениям метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона	347
6.5. Гидрометеорологические риски и их влияние на экологические режимы почв и продуктивную устойчивость агроландшафтов.....	354
6.6. Агрометеорологическое обеспечение растениеводства в новых эколого-климатических условиях его функционирования.....	359
7. МИКРОБИОЛОГИЯ И ИММУНОЛОГИЯ.....	365
7.1. Регуляторы роста и биопрепараты как фактор повышения эффективности бобово-ризобияльного симбиоза.....	365

7.2. Автохтонная микрофлора дерново-подзолистых почвы 110-летнего опыта полевой станции ТСХА.....	374
8. ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ	380
8.1. Органическое вещество и физические свойства дерново-подзолистой почвы после перехода в залежное состояние.....	380
8.2. Особенности негативной трансформации свойств почв степных агроландшафтов под влиянием орошения.....	392
8.3. Дерново-подзолистые почвы: морфогенетическая и лесорастительная оценка	410
9. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ	443
9.1. Физиологические основы продукционного процесса растений рода мискантус (<i>miscanthus</i> spp.).....	443
9.2. Аллелопатические взаимоотношения и корневые выделения у растений	451
10. ХИМИЯ	458
10.1. Эволюция системы химической подготовки студентов аграрных вузов в России	458
10.2. Научно-исследовательский потенциал современной лаборатории физико-химического анализа объектов агросферы	463
10.3. Получение полезных продуктов из отходов сельскохозяйственного производства.....	467
10.4. Предварительное концентрирование цинка с последующим вольтамперометрическим определением.....	485
10.5. Изучение химического состава редьки посевной при применении на растениях селенсодержащих препаратов	490
10.6. Изучение процесса экстракционной очистки фосфорной кислоты с целью получения экологически чистых фосфорных удобрений на ее основе	497
10.7. Развитие идей академика Н.Я. Демьянова	503
10.8. К вопросу изучения эфирных масел	507
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	514

АВТОРЫ

Данная монография подготовлена коллективом сотрудников института Агробиотехнологий РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева при участии коллег из других учреждений:

д.б.н., профессор Серегина И.И. (1.1), д.б.н., профессор Торшин С.П. (1.2; 1.6), д.б.н., профессор Новиков Н.Н. (1.5), д.б.н., профессор Фокин А.Д. (1.6), д.б.н., профессор Калашникова Е.А. (2.1), д.б.н., профессор Пыльнев В.В. (3.1; 3.2; 3.7), д.б.н. профессор Мазиров М.А. (5.1), д.б.н., профессор Мамонтов В.Г. (8.2), д.б.н., профессор Наумов В.Д. (8.3), д.б.н., профессор Тараканов И.Г. (9.1), д.с.–х.н., к.х.н., профессор Белопухов С.Л. (1.1; 7.2; 10.3), д.с.–х.н., профессор Налиухин А.Н. (1.3), д.с.–х.н., профессор Березкин А.Н. (3.7), д.с.–х.н., профессор Белошапкина О.О. (4.1; 4.2), д.с.–х.н., профессор Матюк Н.С. (5.1; 5.2), д.с.–х.н., профессор Беленков А.И. (5.1; 5.2), д.с.–х.н., профессор Зеленев А.В. (5.2), д.с.–х.н., профессор Белолюбцев А.И. (6), д.с.–х.н., профессор Сидоренко О.Д. (7.2), д.с.–х.н., профессор Хохлов Н.Ф. (9.1), д.б.н., доцент Рубец В.С. (3.1), д.б.н., доцент Смирнов А.Н. (4.1), д.б.н., доцент Гриценко В.В. (4.1), д.с.–х.н., доцент Железова С.В. (5.2) – ФГБНУ ВНИИ Фитопатологии, д.б.н., доцент Волобуева О.Г. (7.1), д.б.н., доцент Борисов Б.А. (8.1), д.с.–х.н., доцент Вертикова Е.А. (3.4), д.с.–х.н., доцент Савоськина О.А. (5.1), д.с.–х.н., доцент Дмитриевская И.И. (10.3), д.с.–х.н. Шафран С.А. (1.3) – ВНИИ Агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, к.б.н., доцент Смолина Г.А. (1.2; 1.6), к.б.н., доцент Лапушкин В.М. (1.4), к.б.н., доцент Киракосян Р.Н. (2.1), к.б.н., доцент Чередниченко М.Ю. (2.2; 2.3), к.б.н., доцент Митюшев И.М. (4.2), к.б.н., доцент Каменных Н.Л. (8.3), к.б.н., доцент Ларикова Ю.С. (9.2), к.б.н., доцент Елисеева О.В. (10.5), к.г.н., доцент Дронова Е.А. (6), к.г.н., доцент Асауляк И.Ф. (6), к.пед.н., доцент Григорьева М.В. (10.1), к.с.-х.н., доцент Конорев П.М. (3.3; 3.8), к.с.-х.н., доцент Полин В.Д. (5.1; 5.2), к.с.-х.н., доцент Николаев В.А. (5.2), к.с.-х.н., доцент Березовский Е.В. (5.2) – компания "Amazone", к.с.-х.н., доцент Мельников В.А. (5.2), к.с.-х.н., доцент Авдеев С.М. (6), к.с.-х.н., доцент

Ефимов О.Е. (8.1), к.т.н., доцент Багнавец Н.Л. (10.6), к.т.н., профессор Ильинич В.В. (6), к.х.н., доцент Жевнеров А.В. (10.2), к.х.н., доцент Осипова А.В. (10.4), к.х.н., доцент Дмитриев Л.Б. (10.7), к.б.н. Гусева Ю.Е. (1.2; 1.6), к.б.н. Лапушкина А.А. (1.4), к.б.н. Минаев Н.В. (8.1), к.б.н. Крупин П.Ю. (3.5) – ФГБНУ ВНИИСБ и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, к.б.н. Баженов М.С. (3.5) – ФГБНУ ВНИИСБ и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, к.б.н. Приходько Е.С. (4.1), к.б.н. Хлебникова Д.А. (2.2; 2.3), к.б.н. Поливанова О.Б. (2.4), к.б.н. Дивашук М.Г. (3.5) – ФГБНУ ВНИИСБ и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, к.б.н. Скороходова А.Н. (9.2), к.с.-х.н. Игонин В.Н. (3.1; 3.2), к.с.-х.н. Заверткин И.А. (5.1), Исламгулова Р.Р. (1.1), Зайцев Ф.И. (1.1), Колычихина М.С. (4.1), Сумин А.В. (2.1), Чаленко Ю.В. (2.3), Чеповой И.И. (2.3), Бойцова М.В. (2.3), Голиванов Я.Ю. (3.6), Прохоров А.А. (8.1), Анисимов А.А. (9.1), Жарких О.А. (10.3), Дмитриева В.Л. (10.7), Сушкова Л.О. (10.8).

ВВЕДЕНИЕ

Институт агrobiотехнологий Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева образован 12 апреля 2021 года. Создан на базе двух крупнейших факультетов – факультета агрономии и биотехнологии и факультета почвоведения, агрохимии и экологии (с 1865 г.). В институте 11 кафедр – биотехнологии; генетики, селекции и семеноводства; защиты растений; земледелия и методики опытного дела; растениеводства и луговых экосистем; физиологии растений; почвоведения, геологии и ландшафтоведения; агрономической, биологической химии и радиологии; микробиологии и иммунологии; метеорологии и климатологии; химии. Каждая из кафедр в том или ином виде ведет свою историю с момента основания Петровская земледельческой и лесной академии - с 1865 года.

На базе института имеется научная и производственная база для изучения, исследования, разработки новых агrobiотехнологий. Студенты и сотрудники проходят обучения в современных лабораториях кафедр, а также на Полевой опытной станции, центрах коллективного пользования – УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов», УНЦКП "Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений", Центр точного земледелия, Центр молекулярной биотехнологии, Лаборатории искусственного климата, Фитотроне, Длительном полевом стационарном опыте, который функционирует с 1912 года. Лаборатория защиты растений, Испытательный центр почвенно-экологических исследований, Почвенно-агрономический музей им. В.Р. Вильямса (государственный), Центр зерновых бобовых культур и производства растительного белка, Метеообсерватории имени В.А. Михельсона, Селекционная станция имени П.И. Лисицина.

На базе центров и опытных полях обучающиеся получают профессиональные навыки в условиях, максимально приближенных к

реальным производственным процессам. В процессе обучения студенты и преподаватели ведут научную деятельность, активно участвуют в научных конференциях, форумах, конкурсах, проводимых Минсельхозом России, Правительством РФ, другими государственными и общественными организациями, выполняют работы по грантам Российских и международных фондов, а также участвуют в общественной жизни университета, в спортивных и культурно-массовых мероприятиях.

Стратегическими партнерами института являются ведущие отечественные предприятия и организации: ПАО «ФосАгро», ПАО «Акрон», Щелковский биокOMBинат, Международный биотехнологический центр «Генериум», «Мираторг», «Дмитровские овощи», «Малино», ЗАО Фирма «Август», НПК «Синтол», ЗАО «Щёлково Агрохим», ООО «Сингента», «Байер КропСайенс АГ», Агрофирма «ТРИО», ООО «ФритоЛейн», ООО «Плантогран», УралКалий, УралХим, Союз органического земледелия, Российский зерновой союз и многие другие.

Сотрудничество со стратегическими партнерами открывает возможности студентам проходить учебную, производственную, научно-исследовательскую практику с последующим трудоустройством в ведущих организациях Центрально федерального округа и других регионах России.

Управление институтом осуществляется на принципах сочетания единоначалия и коллегиальности в соответствии с законодательством РФ и Уставом ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Управленческая структура института выстроена в соответствии с основными видами деятельности, закрепленными уставом вуза.

Миссия института заключается в развитии человеческого капитала для обеспечения национального и глобального лидерства в сфере образования, науки и сельского хозяйства, обеспечении качественной подготовки специалистов по преподаваемым дисциплинам, внедрении в учебный и научный процесс современных агро-, и био- и химических технологий, новых методов анализа объектов агросферы. Институт осуществляет подготовку

специалистов – профессионалов в области агрохимии и почвоведения, агрономии, биотехнологии, метеорологии и климатологии, контроля качества сельскохозяйственной продукции, способных решать теоретические и практические задачи, способных к адаптации и успешному освоению смежных областей профессиональной деятельности, а также повышению квалификации, обучению по программам магистратуры, аспирантуры.

В институте за предыдущие годы сложились научные школы и направления:

1. Разработка теории почвообразовательного процесса и плодородия почв (основатель школы – академик В.Р. Вильямс, продолжатели – академик В.П. Бушинский, профессора С.П. Ярков, И.П. Гречин, И.С. Кауричев, академики РАН Н.П. Панов, В.И. Кирюшин и Р.Ф. Байбеков, профессора В.И. Савич, А.Д. Фокин, Н.Ф. Ганжара, Н.Н. Игнатъев, В.Д. Наумов, А.Д. Фокин, А.И. Карпухин, В.Д. Мамонтов, Б.А. Борисов и др.).

2. Теоретическое обоснование питания растений и рационального применения удобрений (основатель – академик Д.Н. Прянишников, продолжатели – профессор А.Г. Шестаков, академик В.М. Клечковский, профессора А.В. Петербургский, П.М. Смирнов, академик Б.А. Ягодин, профессора В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков, Э.А. Муравин, В.А. Демин, В.И. Кобзаренко и др.).

3. Химическая научная школа. Синтез химических веществ с потенциальной биологической активностью. Технология глубокой переработки целлюлозосодержащих отходов растительного сырья. Применение современных физико-химических методов для контроля качества сельскохозяйственной продукции. (основатели – профессора П.А. Ильенков, Г.Г. Густавсон, академики И.А. Каблуков, Н.Я. Демьянов, продолжатели – профессора Е.Н. Гапон, Н.В. Вильямс, В.В. Вильямс, И.Н. Заозерский, С.Н. Алешин, Д.А. Князев, Г.Д. Клинский, И.И. Грандберг, В.Н. Дрозд, А.А. Ивлев, Р.А. Хмельницкий, В.Н. Князев, Н.М. Пржевальский, С.Н. Смарыгин, С.Л. Белопухов, И.И. Дмитриевская).

4. Тимирязевская школа микробиологии (основатель – академик Н.Н. Худяков, продолжатели – академик Е.Н. Мишустин, профессора В.И. Буткевич, М.В. Федоров, В.Т. Емцев, В.К. Шильникова, О.Д. Сидоренко, А.А. Ванькова, О.В. Селицкая).

5. Растениеводство. «Сравнительное изучение динамических параметров продукционного процесса у видов люпина, сои и других зернобобовых культур. Создание высокобелковых сортов белого люпина, разработка сортовых технологий возделывания. Изучение лимитирующих, стрессовых факторов в динамическом процессе формирования урожайности у зернобобовых культур. (Профессор Гатаулина Г.Г.)

6. Сравнительное изучение формирования урожая сортов сои северного экотипа в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ (Заренкова Н.В., Тевченков А.А.)

7. Разработка и совершенствование ресурсосберегающих технологий возделывания пропашных культур в условиях в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ (профессор Постников А.Н., академик РАН Шевченко В.А., Шитикова А.В.).

8. Разработка и совершенствование ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур в условиях в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ (Профессор Словцов Р.И., академик РАН профессор Шевченко В.А., Баженова С.С.).

9. Теоретические и практические основы применения регуляторов роста и биоудобрений в сельском хозяйстве (чл.-корр. РАСХН Захаренко А.В., доцент Бугаев П.Д., профессор Белопухов С.Л.)

10. Оценка адаптивного потенциала и продуктивности сортов новой крупяной культуры – квиноа (киноа – *Chenopodium quinoa* Willd.) и разработка элементов агротехники квиноа в агроэкологических условиях ЦРНЗ (Кухаренкова О.В., Куренкова Е.М.).

11. Луговое хозяйство. Создание и использование долголетних бобово-злаковых сенокосных и пастбищных агрофитоценозов в условиях

Центрального района Нечерноземной зоны РФ. (Профессор Лазарев Н.Н., Куренкова Е.М.).

12. Разработка физиологического обоснования способов применения новых высокотехнологичных источников облучения на основе светодиодов в системах интенсивного культивирования растений. Разработка методических подходов к комплексной физиологической оценке составляющих адаптивного потенциала сельскохозяйственных культур для целей селекции и адаптивного растениеводства. (профессор Тараканов И.Г.).

13. Разработка теории почвообразовательного процесса и плодородия почв (основатель академик В.Р. Вильямс)

14. Изучение геологической среды как литогенной основы агроландшафтов и среды обитания организмов (основатель – доц. П.И. Гречин), изучение агроруд (основатель – проф. Я.В. Самойлов).

15. Разработка микробных биотехнологий для повышения продуктивности агроэкосистем и охраны окружающей среды (Селицкая О.В., Ванькова А.А., Волобуева О.Г., Сидоренко О.Д., Смирнов А.Н., Свиридова Л.А., Снегирев Д.В., Колесников О.В.).

16. Иммуитет, микробиоценоз, минеральный, гормональный обмен при инфекционных, инвазионных и ассоциативных болезнях сельскохозяйственных животных, пушных зверей и птиц и разработка эффективных экологических методов их коррекции (профессор Маннапова Р.Т.).

17. Научная школа кафедры Метеорологии и климатологии «Разработка теоретических и практических основ воспроизводства плодородия почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия.

18. Научная школа академика РАН В.С. Шевелухи: получение безвирусного посадочного материала картофеля, быстрое размножение декоративных, цветочных аквариумных растений и ягодных культур, создание гаплоидных растений сельскохозяйственных культур (для ускорения селекционного процесса), молекулярно-генетическая диагностика,

зеленый синтез «наночастиц», агрономический консалтинг, сити-фермерство, аэропонные и гидропонные установки для выращивания растений, создание трансгенных растений, изучение вторичных метаболитов и управление их биосинтезом (профессор Калашникова Е.А., Чередниченко М.Ю., Киракосян Р.Н.).

19. Школа академика В.М. Ключковского, профессора В.В. Рачинского. Основы радиоэкологии. Разработка контрмер в сельском хозяйстве при ликвидации последствий радиационных аварий; Внедрение в исследования по агрохимии, почвоведению и физиологии растений и совершенствование метода меченых атомов (профессор Торшин С.П.).

20. Школа профессора Б.П. Плешкова. Основы биохимии сельскохозяйственных растений. Разработка агрохимических приёмов, повышающих качество растениеводческой продукции (профессор Новиков Н.Н., профессор Серегина И.И.).

Кроме того, в институте проводятся исследования и по другим направлениям:

1. Разработка инновационных технологий в земледелии на основе глобального позиционирования с учетом биологических особенностей культур.

2. Совершенствование технологий интегрированной защиты растений с целью снижения пестицидной нагрузки и увеличения действия природного регуляторного механизма за счет оптимизации фитосанитарного мониторинга, выбора и применения средств и методов защиты растений на основе углубленного изучения популяционной динамики численности вредных организмов и условий проявления ими вредоносности. Диагностика и меры защиты от главнейших вирусных, грибных и бактериальных болезней основных сельскохозяйственных культур. Экологические аспекты ограничения вредоносности популяций вредных насекомых-фитофагов и клещей. Совершенствование феромонного мониторинга главнейших вредителей плодовых культур.

3. Селекционная работа с полевыми культурами.

Совершенствование селекционного процесса: разработка и внедрение в производство ряда методов отбора, делающих его более эффективным, в селекционный процесс внедрение современных методов биотехнологии, в частности, метода удвоенных гаплоидов. Изучение биологических особенностей озимой тритикале (получение первичных тритикале, изучение цветения, предуборочного прорастания, короткостебельности, гибридного некроза). Изучение генетики устойчивости яровой пшеницы к мучнистой росе, создание устойчивых линий.

В институте открыты четыре направления подготовки бакалавриата:

Агрономия, направленность (профиль) – агробизнес, агроменеджмент, селекция и генетика сельскохозяйственных культур, защита растений и фитосанитарный контроль;

- Биотехнология, направленность (профиль) – биотехнология;
- Гидрометеорология, направленность (профиль) – метеорология.
- Агрохимия и агропочвоведение, направленность (профиль) - агроэкологическая оценка земель, питание растений и качество урожая, сельскохозяйственная радиология, агроэкология, почвоведение и агроэкологическая оценка земель.

В магистратуре реализуется одиннадцать образовательных программ:

По направлению 35.04.04 Агрономия:

- Адаптивные системы земледелия,
- Генетика, селекция и семеноводство,
- Интегрированная защита растений,
- Технология производства продукции растениеводства,
- Управление агробизнесом в растениеводстве,
- Фитотехнологии и биопродукционные системы.

По направлению 19.04.01 Биотехнология:

- Биотехнология и молекулярная биология.

По направлению 05.04.04 Гидрометеорология:

- Гидрометеорологическое обеспечение АПК,

По направлению 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение:

- Химико-токсикологический, микробиологический анализ объектов агросферы,
- Агроэкологическая оценка земель и проектирование агроландшафтов,
- Регулирование почвенного плодородия и повышение продуктивности и качества урожая сельскохозяйственных культур

В аспирантуре ведется подготовка по следующим научным специальностям:

- Агрофизика
- Биофизика
- Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)
- Генетика
- Защита растений
- Метеорология, климатология, агрометеорология
- Луговое хозяйство и лекарственные, эфиромасличные культуры
- Общее земледелие, растениеводство
- Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений
- Технологии и средства механизации сельского хозяйства
- Физиология и биохимия растений
- Почвоведение
- Агрохимия

Таким образом, институт агробиотехнологии как ведущий институт в структуре Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, ставит перед студентами, аспирантами,

преподавателями и научными сотрудниками стратегические задачи на ближайшие годы:

1. Повышение качества образовательного процесса и научных исследований при сохранении высокого уровня профессорско-преподавательского состава.

2. Формирование готовности выпускников Университета к профессиональной и социальной деятельности; приобретение знаний, умений и навыков в области почвоведения, агрохимии, агрономии, селекции, генетики, микробиологии, биотехнологии, метеорологии и климатологии, контроля качества объектов агросферы, удовлетворяющие потребностям общества и потенциальных работодателей; участие в проведении научно-исследовательских работ в соответствующих областях; формирование у обучающихся профессиональных компетенций, позволяющих им быть востребованными на рынке труда, способствующих их социальной мобильности и обеспечивающих возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для их адаптации и успешной профессиональной деятельности.

1. АГРОНОМИЧЕСКАЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И РАДИОЛОГИЯ

1.1. БИОСТИМУЛЯТОРЫ КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

В настоящее время одной из важнейших проблем сельского хозяйства является существенное влияние биотических и абиотических факторов на производство основной продукции растениеводства и сырьевой составляющей. Различные климатические явления оказывают отрицательное воздействие на рост и развитие культур, что зачастую приводит к ухудшению фитосанитарного состояния агроценозов, уменьшению урожайности и ухудшению свойств получаемой продукции. Адаптация растений к стрессовым условиям регулируется на гормональном уровне. Экзогенное введение фитогормонов дает шанс на направленное урегулирование отдельных этапов морфогенеза, вовлечение всевозможных способностей растительного организма, ориентированных на устойчивость растений к негативным условиям окружающей среды, увеличения их стойкости к вредоносным организмам и обеспечения наилучшей продуктивности (Альтергот, 1981).

Посевы сельскохозяйственных культур страдают от засухи, которая оказывает негативное действие на растения в критический период роста (VI – IX этап органогенеза), что может быть обусловлено неблагоприятными свойствами почвы, а также отклонениями климатических показателей от средних многолетних. Дефицит влаги в верхнем слое почвы при посеве уменьшает скорость прорастания семян, которая приводит к снижению всходов и сокращению урожая. Среди всех стихийных бедствий на планете, засуха наносит наибольший урон природе и человечеству (Телевка, 2013).

В онтогенезе растения неодинаково чувствительны к недостатку воды. Наибольшая чувствительность к дефициту влаги в почве проявляется в периоды наибольшего роста конкретного органа или всего растения. Для каждого вида растений существуют критические периоды, т. е. периоды наибольшей чувствительности к снабжению водой. Большинство злаков относительно устойчивы к засухе на I-IV этапах органогенеза, хотя урожай снижается в данном случае за счет уменьшения числа заложившихся колосков в колосе. На V-VIII этапах устойчивость к засухе злаков снижается, урожай падает за счет уменьшения количества колосков и цветков в колосе (метелке). Засухоустойчивость, как и жаростойкость растений, резко снижается с образованием у них генеративных органов и до цветения (VII-IX этапы) включительно. По Ф.Д. Сказкину (1957), злаки наиболее чувствительны к влаге в период фаз выход в трубку – колошение, когда происходят процессы формирования генеративных органов, происходят цветение и оплодотворение (Шевелуха, 1992). При дефиците влаги в почве в этот период наблюдается задержка в развитии конуса нарастания главного побега, что приводит к отставанию в росте колоса и формирования колосков, торможение формирования цветочных зачатков. Это приводит к стерильности цветков, в результате чего возникает черезерница и пустоколосье. На более поздних (молочная, восковая спелость) этапах засуха приводит к снижению качества и количества урожая плодов и семян, образованию щуплого зерна, недостаточно заполненного питательными запасными веществами, со слабым зародышем (Серегина, 2018; Телевка, 2013).

Недостаток влаги в почве приводит к снижению поглощающей поверхности корней, их массы и длины, следовательно, ведет к ослаблению роста корневой системы и увеличению интенсивности дыхания корней (Liang и др., 1996). При этом снижаются размеры поступления элементов питания в растения, что способствует изменению направления азотного питания в сторону накопления содержания небелкового азота (Серегина, 2018).

Показано, что возникновение водного стресса приводит к нарушению физиолого-биохимических реакций растений. Длительная засуха снижает интенсивность фотосинтеза и нарушает процессы дыхания, газообмена, углеводного обмена, при этом тормозится отток продуктов фотосинтеза из листьев в другие органы (Белоус, 2011). Поскольку углеводы являются энергетическим ресурсом и играют одну из главных ролей в жизни растения, ученые уделяют большое внимание изучению углеводного метаболизма. В растениях углеводы синтезируются в процессе фотосинтеза. У растений возрастает активность многих гидролитических ферментов цитоплазмы, что приводит к распаду белков, нуклеиновых кислот и некоторых полисахаридов. Также нарушается углеводный обмен, в результате чего возрастает содержание растворимых углеводов за счет повышения глюкозы и сахарозы. Длительное обезвоживание растений сопровождается снижением скорости ассимиляции CO_2 при фотосинтезе, что приводит к значительному усилению интенсивности дыхания (возможно, из-за большого количества субстратов дыхания - сахаров), а затем постепенно снижается (Телевка, 2013).

Показано, что под действием водного стресса в клетках растений «включается» каскад сигнальных реакций, при этом отмечается интенсивный синтез абсцизовой кислоты (АБК) в связи с индукцией экспрессии гена оксидазы зеаксантина, который является одним из ключевых ферментов образования этого фитогормона из каротиноидов. В результате происходит изменение в составе синтезируемых белков, и формирование новых белков, в связи с влиянием на протеазную активность. Абсцизовая кислота (АБК) появляется в клетке в ответ на изменение состояния воды. Для нормальной жизнедеятельности все молекулы клетки должны находиться в определенных условиях оводнения. Белки и нуклеиновые кислоты удерживают воду с помощью водородных связей. Нехватка воды и повышение концентрации ионов могут привести к денатурации биологически активных молекул. При повторном увлажнении вернуть им активность сложно. Поэтому клетка должна принять меры, чтобы ДНК, РНК и белки сохранили свою структуру

(конфигурацию). Этим и обусловлены эффекты АБК на клеточном уровне. В клетке повышается концентрация осмотически активных веществ. В ответ на АБК повышается уровень аминокислоты оксипролина, сахарозы и других низкомолекулярных веществ. Осмотическое давление увеличивается, и это препятствует потере воды. Если в окружающей среде есть вода, она начинает активнее поступать в клетку. Абсцизовая кислота участвует в закрытии устьиц и влияет на транспорт ассимилятов. АБК задерживает синтез цитокининов, останавливает рост корня. При увядании растений АБК быстро накапливается в побеге. Показано, что водный стресс активизирует, главным образом, биосинтез АБК, причем синтез фитогормона усиливается до появления первых симптомов увядания (Пузина, Цуканова, 2008; Серегина, 2007; Телевка, 2013).

Результатом любого внешнего воздействия на растения является окислительные реакции, которые сопровождаются активизацией свободнорадикальных процессов и перекисного окисления липидов (ПОЛ). Развитие перекисного окисления вызывает существенные изменения в структуре и функциях мембран (Вихрева и др., 2012). Под действием водного дефицита тормозится поступление углекислого газа, что вызывает ослабление фотосинтеза и избыток кислорода, которые приводят к развитию ПОЛ с увеличением активности малонового ангидрида и повреждению мембран клеток. Процесс перекисного окисления липидов мембран сопровождается большим накоплением как промежуточных продуктов (гидроперекисей), так и конечных (малонового диальдегида, увеличение которого составило 2-3 раза) (Серегина, 2018; Телевка, 2013). Накопление АБК является основной причиной повреждений клеточных мембран и макромолекул вследствие действия стрессового фактора на организм.

Реализация генетической программы в клетках растений принадлежит цитоплазматическим органеллам – митохондриям и хлоропластам (Zhu, 2001). Под влиянием засухи в листьях снижается количество РНК вследствие уменьшения ее синтеза и активации рибонуклеаз. В цитоплазме наблюдается

распад полирибосомных комплексов. Длительная засуха вызывает изменения, касающиеся ДНК, что объясняется существенной перестройкой общего энергетического потенциала клетки, в который входят и митохондриальная, и хлоропластная системы энергообеспечения. Под действием окислительных стрессов в растениях возникает в условиях, способствующие формированию активных форм кислорода (АФК), к которым относят анион-радикал $O_2^{\cdot-}$, пероксид водорода H_2O_2 , гидроперекисный радикал HO_2^{\cdot} , гидроксил-радикал HO^{\cdot} , а также синглетный кислород 1O_2 и озон O_3 . Повышение содержания в клетках активных форм кислорода в клетках приводит к повреждению биомолекул и может вызвать гибель растений (Вихрева и др., 2012; Серегина, Белопухов, 2021; Шумилин, 2016). В растениях существенное значение приобретают механизмы работы системы антиоксидантной защиты растений, снижающие внутриклеточные концентрации АФК, а также ограничивающие процессы синтеза токсических продуктов взаимодействия АФК с биополимерами и повышающие устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды (Половинкина, Сеницына, 2010; Серегина, Белопухов, 2021).

К активным формам кислорода относится большое количество анионов и радикалов. Из них основными являются: супероксидный анионрадикал $O_2^{\cdot-}$, гидроксильный радикал OH^{\cdot} , пероксид водорода H_2O_2 , алкоксильный RO^{\cdot} , пероксильный ROO^{\cdot} и синглетно возбужденный молекулярный кислород 1O_2 и др. Все эти радикалы проявляют высокую реакционную способность вследствие окислительной активности, могут превращаться друг в друга и переходить из одной формы в другую. На их превращения будут влиять наличие металлов с переменной валентностью и характер процессов в среде их нахождения. Кроме того, АФК могут взаимодействовать с различными клеточными макромолекулами: ДНК, белками и т.п., что ведет к образованию большого числа окисленных продуктов (Половинкина, Сеницына, 2010; Серегина, Белопухов, 2021).

Образующиеся в больших количествах активные формы кислорода имеют высокий окислительный потенциал и приводят к окислению веществ внутри живых организмов, нарушению функций, или разрушению клеток. Более того, показано, что одна из основных причин старения — это накопление окислительных повреждений биомолекул. Установлено, что пять из шести основных видов АФК образуются в результате последовательного присоединения электронов к молекуле кислорода. Эти пять видов АФК являются короткоживущими соединениями (Половинкина, Сеницына, 2010; Серегина, Белопухов, 2021).

Генерация активных форм кислорода может протекать также и на мембране ядер. При присоединении второго электрона к супероксиду образуется пероксид водорода и гидроперекисный и перекисный анионы. В водных системах остатки супероксидного радикала при дисмутации образуют пероксид водорода и молекулярный кислород. Активность пероксида водорода связана не столько с его электронной активностью, сколько со способностью проникать через биологические мембраны, из-за того что молекула не несет в себе электрического заряда. Пероксид водорода образуется путем восстановления на оксидазах кислорода. Образующийся H_2O_2 в хлоропластах в результате фотолиза воды в фотосистеме 2 разлагается тут же каталазой. Кроме того, пероксид водорода может образовываться в хлоропластах и митохондриях при детоксикации супероксид-аниона, например, молекулами аскорбата. Образование пероксида водорода в клеточной стенке и плазмалемме связывают с деятельностью пероксидаз при защитной деятельности клетки (Новиков, 2012; Серегина, Белопухов, 2021; Хелдт, 2011).

Гидроксильный радикал является не стабильной АФК с низким периодом жизни. При этом он обладает высокой электрофильностью, что обуславливает его высокую окислительную способность. Этот радикал может образовываться в хлоропластах при окислении сульфитов до сульфатов. При передаче ему энергии без присоединения электронов

(спонтанная дисмутация) может образовываться синглетный кислород ($1O_2$) (Половинкина, Сеницына, 2010; Серегина, Белопухов, 2021; Хелдт, 2011).

При накоплении АФК в клетках, в растительном организме наступает оксидативное состояние, или состояние окислительного стресса. В ходе деятельности активных форм кислорода происходит повреждение различных биополимеров, в частности нуклеиновых кислот, белков, липидов и углеводов. Такие процессы называются перекисным окислением, а совокупность их действия – окислительной модификацией молекул. При деятельности активных форм кислорода в первую очередь повреждаются клеточные мембраны за счет перекисного окисления липидов, результатом которого в клеточных стенках образуются большие количества гидроперекисей жирных кислот. Дальнейшие превращения приводят к образованию в конечном итоге спиртовых и альдегидных производных с короткой углеродной цепью. Кроме того, нарушение липидного слоя мембран приводит к повышенной проницаемости для двухвалентных катионов, катионов водорода, анионов активных форм кислорода, увеличению вязкости мембраны, заряда поверхности и снижения активности ферментов клеточной стенки. Совокупности всех окислительных реакций, одновременно с повышением продуктов перекисного окисления липидов приводит к нарушениям целостности и физических свойств мембран (Половинкина, Сеницына, 2010; Шумилин, 2016). Показано, что в малых концентрациях пероксид водорода индуцирует синтез более 30 белков (Storz и др., 1990).

Главным аспектом влияния дефицита влаги в почве на растения является изменение водного обмена в клетках и тканях растений. В процессе онтогенеза происходит изменение общей оводненности растений, водоудерживающей и водопоглощающей способности, а также общий водный дефицит. Острая водная недостаточность в большой степени подавляет водный обмен в корнях по сравнению со стеблями и листьями, особенно расположенными на верхних ярусах растения. По разным оценкам

в условиях почвенной засухи оводненность тканей листьев пшеницы снижается на 9-15 % (Телевка, 2013).

В связи с этим важным моментом адаптации растений к условиям засухи является развитие антиоксидантной системы и образование соответствующих ферментов, в первую очередь, супероксиддисмутазы. Важное значение в обеспечении устойчивости к засухе имеет образование особых стрессовых белков. Распад органических соединений ведет к образованию промежуточных продуктов распада (например, аммиака), которые отравляют растение (Телевка, 2013).

Одним из приемов управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур является применение биостимуляторов роста, значение которых обусловлено главным образом изменением гормонального обмена растений. Концепция регуляции заключается в изменении характера протекания физиолого-биохимических процессов.

Стимулирующая роль современных биостимуляторов роста растений заключается в способности контролировать скорость роста и развития надземной части растений, корнеобразование и цветение, улучшать качество зерна. Защитная роль биостимуляторов роста обусловлена активизацией адаптивных способностей растений и увеличением их устойчивости к стрессовым условиям окружающей среды. Выявленное положительное действие регуляторов роста растений проявляется в различных стрессовых условиях, вызванных заниженными температурами, недостатком влаги в почве, токсическим воздействием пестицидов, болезнями и вредителями. Регуляторы роста растений способствуют снижению в продукции содержания нитратов, тяжелых металлов и радионуклидов. В тоже время при их использовании необходимо учитывать, что каждый из используемых препаратов специализирован для стимулирования роста, развития и увеличения продуктивности некоторых сельскохозяйственных культур при выборе оптимальных доз, сроков и способах их применения. Нарушение

данных условий может привести к уменьшению прогнозируемого эффекта (Серегина, Белопухов, 2021).

Перед применением какого-либо препарата в сельском хозяйстве часто возникает вопрос о его экологической безопасности. В связи с этим важным вопросом является исследование токсикологических свойств регуляторов роста. Препараты растительного происхождения, или изготовленные из природного сырья при их использовании для обработки растений в течение вегетационного периода или при внесении в почву естественным порядком включаются в метаболизм растений и почвенной микрофлоры (Деева, Санько, 2003).

В связи с этим в задачи наших исследований входило изучение адаптивной роли биостимулятора при выращивании яровой пшеницы в стрессовых условиях, вызванных засухой на ранних этапах развития растений, а также в критический период роста растений. Для решения поставленных вопросов была проведена серия лабораторных исследований в фитотронной установке с различными сортами яровой пшеницы на ранних этапах развития. Семена проращивали методом рулонов в стаканах. Объектом исследований являлась яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сортов: Лада, Московская 35, Мис, Иволга. Перед посевом семена обрабатывали биостимулятором (защитно-стимулирующий комплекс – ЗСК), основой которого являлись гуминоподобные вещества природного происхождения (автор препарата профессор С.Л. Белопухов). Контролем являлись варианты без обработки. Продолжительность исследований составляла 5 суток. После окончания опыта определяли показатели роста и развития проростков, а также показатели устойчивости к стрессовым условиям (коэффициент устойчивости и относительную засухоустойчивость). Для оценки действия биостимулятора роста на адаптивную способность яровой пшеницы в условиях засухи в критический период ее роста был проведен вегетационный опыт в почвенной культуре. Засуху моделировали на VI этапе органогенеза. После окончания стрессового

воздействия возобновляли полив. Повторность всех опытов четырехкратная. В течение вегетационного периода отбирали пробы растений для оценки динамики нарастания величины ассимиляционного аппарата и сухой биомассы растений. После уборки урожая определяли его структуру, формирование элементов продуктивности и величину урожайности яровой пшеницы.

Результаты исследований показали, что в условиях засухи в вариантах с обработкой биостимулятором (ЗСК) семян перед посевом получено увеличение энергии прорастания и всхожести семян различных сортов пшеницы. Прибавки составили от 10,3 до 46,7 % и от 10,0 до 54,8 %. Наиболее отзывчивым оказались сорта Мисс и Иволга, у которых наблюдалось наибольшее возрастание энергии прорастания и всхожести семян. Полученные результаты свидетельствуют о существовании сортовой специфики действия препарата. Учитывая группировку зерновых культур по степени засухоустойчивости изучаемые сорта пшеницы можно оценить следующим образом: в контрольном варианте все сорта оказались слабоустойчивые к засухе, при использовании биостимулятора сорта Мис и Иволга – среднеустойчивые в засушливых условиях. Следует отметить, что применение биопрепарата стимулировало более активный рост зародышевых корешков, о чем свидетельствует улучшение относительных показателей засухоустойчивости. Было выявлено увеличение индекса длины корня, а также коэффициента засухоустойчивости и коэффициента интенсивности роста корневой системы. Согласно проведенным исследованиям, максимальное изменение индекса длины корня показано для сорта Иволга, наименьшее для сорта Московская 35. Показано, что в условиях засухи при использовании биостимулятора у сортов Иволга, Мис и Лада величина корневой системы преобладает над массой проростка, что определяет улучшение процессов поглощения и транспорта элементов минерального питания и воды корнем.

В вегетационных исследованиях применение ЗСК способствовало оптимизации ростовых процессов в течение вегетационного периода. Было выявлено возрастание площади ассимиляционного аппарата растений и накопления сухой биомассы растений в оптимальных условиях выращивания. После возобновления полива применение ЗСК сопровождалось активным восстановлением ассимиляционного аппарата растений за счет боковых побегов, что обусловило возрастание размеров накопления сухой биомассы яровой пшеницы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что растения яровой пшеницы при применении ЗСК эффективно используют элементы минерального питания, что позволяет нивелировать процессы окисления наращивая дополнительную биомассу.

Таким образом, можно сделать вывод, эффективность действия биостимулятора (ЗСК) в условиях засухи на ранних этапах развития растений пшеницы зависело от сортовой специфики изучаемых сортов. Наибольшую отзывчивость сортов на обработку семян препаратом проявили сорта Иволга, Мис и Лада. Проведенные исследования показали улучшение адаптивной способности проростков яровой пшеницы, что обуславливает устойчивость растений и определяет сохранение стабильного состояния в стрессовых условиях. При воздействии на растения яровой пшеницы во время вегетации краткосрочной почвенной засухи в критический период ее роста, применение ЗСК обеспечивает максимально возможную в данных условиях степень реализации потенциальной продуктивности растений. Действие ЗСК в стрессовых условиях способствовало повышению урожайности зерна пшеницы за счет регулирования процессов оттока ассимилятов и формирования элементов продуктивности и доли реализации элементов потенциальной продуктивности. Стимулирование процессов роста корневой системы на начальных этапах развития, что ускоряет развитие растений в результате активизации процессов поглощения элементов минерального питания и позволяет использовать биостимулятор (ЗСК) как средство управления онтогенезом растений.

1.2. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ АЗОТА УДОБРЕНИЙ И ПОЧВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ (С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЧВ ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА)

Несмотря на то, что длительный опыт Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева существует не один десяток лет, до сих пор он является научным полигоном для изучения сложных вопросов массопереноса макро- и микроэлементов в системе «почва-растение». Отметим, что далеко не все процессы трансформации азота в зависимости от использования и степени окультуренности почв исследованы. Большая надежда возлагается на более детальное изучение этих взаимосвязей и закономерностей на применение современных методов, в числе которых использование стабильного изотопа азота ^{15}N .

В связи с этим в задачу наших исследований входило изучение влияния уровня плодородия и предшествующей удобренности почвы на урожай ячменя; использование растениями и закрепление в органической форме азота удобрений; размеров потерь азота удобрений из почв различного сельскохозяйственного использования в год внесения и в последствии. Для решения этих задач был заложен вегетационный опыт.

Вегетационный опыт проводили с использованием различных почв, взятых со следующих вариантов длительного опыта:

Многолетний пар РК, NPK, NPK+навоз;

Бессменный ячмень РК, NPK, NPK+навоз;

Севооборот РК, NPK, NPK+навоз.

Целинная почва, взятая с прилегающего к длительному опыту участка.

Длительный опыт был заложен в 1912 году по инициативе Д.Н. Прянишникова под руководством профессора А.Г. Дояренко на полевой опытной станции академии. С соответствующих делянок длительного опыта

была взята почва и в течение трех лет использовалась для вегетационного опыта. Используемые в вегетационном опыте почвы отличались по физико-химическим свойствам, особенно по содержанию гумуса и кислотности (табл.1.2.1).

Таблица 1.2.1

Агрохимическая характеристика почв

Вариант		Гумус, %	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Нг	S	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
					мЭКВ/100г				
Многолетн ий пар	PK	1,07	5,70	4,60	2,67	1,43	33,2	308	175
	NPK	1,06	5,26	4,20	3,55	1,02	22,2	318	178
	NPK+ навоз	1,12	5,31	4,19	4,22	0,78	15,6	334	184
Бесменны й ячмень	PK	1,44	6,80	5,93	1,57	5,58	78,0	266	159
	NPK	1,59	6,58	5,74	1,92	5,18	72,9	284	105
	NPK+ навоз	1,62	6,65	5,83	1,88	6,11	76,4	330	106
Севооборот	PK	1,45	6,54	5,63	1,95	4,86	71,3	287	142
	NPK	1,47	6,21	5,26	3,03	3,41	52,4	290	96
	NPK+ навоз	1,65	6,44	5,30	2,09	3,83	64,6	324	114
Целинная почва	PK	2,50	6,03	4,87	4,13	5,35	56,4	183	175
	NPK	2,23	5,92	4,76	4,01	5,29	56,8	162	150
	0	2,58	5,56	4,53	3,76	4,76	55,8	120	130

Вегетационный опыт проводили в трехкратной повторности. Часть сосудов опыта служила контролем, в остальные наряду с фосфорно-калийными удобрениями вносили аммонийную селитру. В первый год опыта ¹⁵N аммонийная селитра вносилась во все три сосуда, в следующий год в один сосуд была внесена немеченая аммонийная селитра и в последний опыта в два сосуда вносили ¹⁴NH₄¹⁴NO₃, в один ¹⁵NH₄¹⁵NO₃. Это позволило проследить за размером использования растениями и динамикой минерализации иммобилизованного азота удобрений в последствии. Для изучения динамики превращения меченого азота удобрений в парующей почве два сосуда каждого варианта оставляли незасеянными. В первый сосуд в первый год опыта внесли PK, во второй сосуд – PK+¹⁵NH₄¹⁵NO₃; во второй

год опыта, наоборот, 1-й – РК+ $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$, во второй – РК и в последний третий год опыта в 1-й сосуд – РК, во второй РК+ $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$. Опыт проводили в стеклянных сосудах, вмещающих 3 кг сухой почвы. Азотные удобрения вносили в дозе 300 мг азота на сосуд, исходное обогащение 13,53-14,55 ат.%. В качестве фосфорно-калийных удобрений использовали смесь (1:1) K_2PO_4 и K_2HPO_4 из расчета по 120 мг P_2O_5 и K_2O на 1 кг почвы. Ячмень сорт «Московский-121» высевали по 25 семян на сосуд, оставляя после всходов 20 растений. Влажность почвы в сосудах поддерживали на уровне 60% ПВ.

Измерения изотопного состава азота образцов проводили на масс-спектрометре МИ-1305. Содержание общего азота в анализируемом материале определяли после озоления с серной кислотой по Кьельдалю. Меченный ^{15}N аммиачный азот в почве определяли отгоном аммиака с 40% NaOH , а азот NO_3^- и NO_2^- путем восстановления их сплавом Деварда с последующим отгоном аммиака по Кьельдалю. Немеченый минеральный азот определяли в почве из вытяжки 1н NaCl : аммиачный – колориметрически по Несслеру, нитратного – спектрофотометрически с хлорной кислотой. Концентрации CO_2 определяли хроматографически на приборе Chrome-3 (Чехия).

Известно, что под влиянием азотных удобрений резко возрастает урожай сельскохозяйственных культур, особенно на бедных азотом и гумусом дерново-подзолистых почвах. Положительное влияние систематического применения азотных удобрений в сочетании с окультуриванием дерново-подзолистых почв (систематическое унавоживание, известкование, применение фосфорно-калийных удобрений) на повышение урожая ярко демонстрирует длительный опыт РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Данные этого опыта свидетельствуют о том, что при правильном использовании азотных удобрений достигается не только повышение урожая, но и улучшение агрохимических свойств почвы, т.е.

повышается ее плодородие (Бовина, 2020; Завалин, Соколов, 2016; Мазиров, Сафонов, 2010; Смирнов, 1982).

В трехлетнем вегетационном опыте, заложенном на почвах, взятых с многолетнего опыта ТСХА урожая ячменя, полученные как по фосфорно-калийному фону, так и при внесении NPK, сильно варьировали. Независимо от предшествующей удобренности и сельскохозяйственного использования почвы в вариантах опыта, где вносили только РК, в среднем за три года были получены низкие урожаи ячменя – 3,84-4,77 г/сосуд, за исключением целинной почвы, на которой вес надземной массы растений более чем в 2 раза был выше, чем в других вариантах (табл. 1.2.2). Это связано с более благоприятными условиями азотного питания растений на этой почве вследствие повышенной минерализации почвенного органического азота.

На почвах севооборота, бессменного ячменя и целины при внесении аммиачной селитры урожаи ячменя сильно повышались. Так, под влиянием NH_4NO_3 средние за три года урожаи надземной массы на этих почвах увеличились, соответственно, с 18,66-21,53 и с 10,97 до 21,84 г/сосуд, т.е. в 2-4 раза (табл. 1.2.2).

В вариантах многолетнего пара значительное увеличение веса надземной массы растений при внесении NH_4NO_3 наблюдалось только по длительному фосфорно-калийному удобрению. Многолетнее применение азотных удобрений как с навозом, так и без него на длительно парующей почве привело к увеличению кислотности; pH_{KCl} этих почв понизился до 4,19-4,20 (табл.1.2.1). В отсутствие достаточного количества органического вещества (содержание гумуса 1,08-1,12%, табл. 1.2.1) эти почвы обладали слабой буферной способностью, и повышение кислотности при внесении нитрата аммония в вегетационном опыте отрицательно отразилось на развитии растений. На почве севооборота по варианту РК многолетнего опыта, наоборот, были получены меньшие урожаи (при внесении аммонийной селитры), чем в вариантах, длительно получавших NPK и особенно NPK вместе с навозом. Хотя на целинной почве и был получен

наибольший урожай ячменя, но его прибавка от азотного удобрения оказалась гораздо меньше, чем на почве севооборота. Так, если внесение нитрата аммония вызывало повышение урожая надземной массы ячменя в 2 раза на почве целины, то под влиянием этого удобрения урожаи в вариантах с почвой севооборота увеличились в 4-5 раз.

Таблица 1.2.2

Урожай надземной массы ячменя (г/сосуд)

Варианты многолетнего опыта		Год проведения опыта			Средний урожай за три года
		1-й	2-й	3-й	
Многолетний пар	PK	5,37	3,76	2,93	4,02
	NPK	4,99	3,93	3,86	4,26
	NPK+навоз	3,98	4,17	3,38	3,84
Севооборот	PK	2,66	6,94	4,71	4,77
	NPK	4,18	4,63	3,47	4,09
	NPK+навоз	3,77	5,76	4,63	4,72
Целинная почва		8,11	13,67	11,14	10,97
Многолетний пар		PK+ NH ₄ NO ₃			
	PK	19,20	12,14	12,81	14,72
	NPK	4,46	4,51	6,00	4,99
	NPK+навоз	7,29	5,12	8,51	6,97
Севооборот	PK	18,78	20,22	16,97	18,66
	NPK	23,14	20,13	18,64	20,64
	NPK+навоз	25,63	19,01	19,96	21,63
Целинная почва		25,49	20,82	19,20	21,84
НСР ₀₅		1,52	1,26	1,86	

Урожайные данные вегетационного опыта соответствуют исследованиям (Кидин, Иванникова, 1979; Нестерова, 1973; Сапожников и др., 1973), в которых неоднократно отмечалось увеличение урожая сельскохозяйственных культур с повышением почвенного плодородия.

Общий вынос азота растениями находился в полном соответствии с урожаем надземной массы (табл. 1.2.3). Во всех вариантах вегетационного опыта, где нитрат аммония не вносили, общий вынос азота в среднем за 3 года составил 35-48 мг азота на сосуд, т.е. был очень низким. В варианте с

целинной почвой вынос азота составил 111 мг на сосуд или вдвое больше, чем в вариантах с почвами бесменного пара и севооборота.

Внесение нитрата аммония вызвало резкое увеличение выноса азота растениями, особенно в вариантах севооборота и целины, а также из почвы многолетнего пара по фону РК. Наибольшее количество азота (290 мг на сосуд в среднем за 3 года) растения использовали из целинной почвы. В вариантах многолетнего пара NPK и NPK+навоз общий вынос азота растениями оказался наименьшим – 131 и 164 мг на сосуд.

Таблица 1.2.3

Использование растениями азота почвы и удобрений в среднем за 3 года

Показатели	Варианты многолетнего опыта						Целинная почва
	Бесменный пар			Севооборот			
	РК	NPK	NPK+навоз	РК	NPK	NPK+навоз	
	Общий вынос азота РК / РК+ NH ₄ NO ₃						
мг N/ сосуд	35/ 237	47/ 131	39/ 164	48/ 256	45/ 267	46/ 264	111/ 290
	Азот почвы (по вариантам РК+ NH ₄ NO ₃)						
мг N/ сосуд	69	41	40	97	117	98	102
% от общего выноса	28	30	24	40	44	37	34
% от РК	198	88	108	222	262	231	97
	Коэффициент использования NH ₄ NO ₃						
Разностным методом	67	28	42	69	74	73	60
Изотопным методом	56	30	41	53	50	55	63

При внесении азотного удобрения использование растениями азота почвы в условиях вегетационного опыта также было различным на разных почвах. Применение аммиачной селитры обеспечило увеличение использования растениями почвенного азота за счет усиления его минерализации. Этот факт широко описан в литературе. В нашем вегетационном опыте наиболее интенсивное усвоение растениями

почвенного азота отмечалось в вариантах севооборота и целины – 97-117 мг на сосуд. Несколько меньше азота – 69 мг на сосуд растения использовали из почвы многолетнего пара по длительному фону РК. По остальным вариантам многолетнего пара (NPK и NPK+навоз) вынос азота почвы ячменем оказался минимальным – 40-41 мг азота на сосуд. Аналогичные данные были получены (Нестерова, 1973; Смирнов и др., 1981). Таким образом, использование почвенного азота, как и общий вынос его растениями, тесно связан с их урожаем.

Сопоставление размеров усвоения азота почвы ячменем в вариантах вегетационного опыта РК и РК + NH_4NO_3 показывает, что из почвы севооборота и многолетнего пара (по фону РК) при внесении азотного удобрения усвоение его увеличилось примерно в два раза (табл. 1.2.3). На почве целины под влиянием аммиачной селитры дополнительной мобилизации и усвоения растениями почвенного азота, в среднем за 3 года, не наблюдалось. Это объясняется высокой в первый год и менее интенсивной в последующие два года минерализацией почвенного органического азота в вариантах, где вносили нитрат аммония. Минерализация азота целинной почвы в варианте без внесения азотного удобрения шла достаточно интенсивно, о чем свидетельствует вынос почвенного азота ячменем в вариантах РК. В сильно кислых почвах вариантов NPK и NPK+навоз многолетнего пара внесение нитрата аммония в условиях вегетационного опыта также не увеличивало минерализацию и усвоение ячменем почвенного азота (табл. 1.2.3). В структуре общего выноса азота растениями по всем вариантам большая его часть приходилась на азот удобрений. Доля почвенного азота в общем выносе составляла для вариантов севооборота 37-44%, многолетнего пара 24-30% и целины – 34%.

Различная предшествующая удобренность почвы севооборота существенно не повлияла на общий вынос азота почвы и удобрений и коэффициенты использования ячменем нитрата аммония. В вариантах с почвой севооборота коэффициенты использования азота удобрений,

рассчитанные разностным методом, превышали на 16-24% коэффициенты использования, полученные изотопным методом (табл. 1.2.3). Несколько меньшая разница – 11% наблюдалась в варианте РК многолетнего пара. В других вариантах многолетнего пара (NPK и NPK+навоз) различий в коэффициентах использования азота удобрений растениями, полученных разностным и изотопным методами вообще не наблюдалось, что связано, очевидно, со слабой биологической активностью этих почв, отсутствием дополнительного усвоения почвенного азота и низкими урожаями ячменя в этих вариантах.

Наиболее эффективное использование растениями азота внесенного удобрениями отмечено на целинной почве, где был получен наиболее высокий (63%) коэффициент использования азота, рассчитанный изотопным методом.

Таким образом, как урожаи ячменя, так и размеры общего выноса азота растениями в вегетационном опыте зависели от почвенного плодородия. На более плодородных почвах целины и севооборота урожаи и использование азота растениями были гораздо выше, чем на почве многолетнего пара. Увеличение урожаев и общего выноса азота на более плодородных почвах, по сравнению с малоплодородными, происходило в основном за счет большего усвоения почвенного азота.

Закрепление азота удобрений в почве в органической форме является важным фактором снижения его потерь и повышения плодородия почвы, так как иммобилизованный азот со временем может быть использован сельскохозяйственными культурами. Размер иммобилизации зависит от многих факторов и прежде всего от типа почвы, механического состава, наличие доступного для микроорганизмов свежих растительных остатков (соломы, корней) и других почвенных условий. Установлено, что размер иммобилизации азота удобрений в почвах увеличивается с повышением их общей биологической активности. Активность почвенной микрофлоры различных по плодородию почв определяли по интенсивности выделения

углекислого газа при компостировании их в закрытых сосудах (табл. 1.2.4). Из трех использованных в вегетационном опыте почв – многолетнего пара и севооборота по длительному полному минеральному удобрению и целины наибольшей активностью почвенной микрофлоры отличалась целинная почва. За 40 дней над этой почвой накопилось 18,40 мг С-СО₂ на сосуд.

Таблица 1.2.4

Динамика выделения СО₂ из различных по плодородию почв при компостировании их с нитратом аммония в анаэробных условиях (мг С-СО₂ на 50 г почвы)

Почва	Экспозиция, дни				
	0-10	10-20	20-30	30-40	0-40
Многолетнего пара РК	1,46	1,13	0,57	0,88	4,04
Севооборота РК	2,97	1,37	0,71	1,32	6,37
Целины	5,61	4,93	4,63	3,23	18,40

Меньшей биологической активностью отличались почвы севооборота и, особенно, многолетнего пара, из которых за 40 дней выделилось, соответственно, 6,37 и 4,04 мг С-СО₂ на сосуд.

За три года вегетационного опыта в почве под растениями при ежегодном внесении аммиачной селитры наблюдалось увеличение абсолютного (мг/сосуд) содержание иммобилизованного азота удобрений (табл. 1.2.5), причем в почвах с более высокой биологической активностью абсолютное количество закрепившегося в органической форме азота ¹⁵NH₄¹⁵NO₃ было значительно больше. К третьему году опыта в почвах севооборота и целины содержание иммобилизованного азота достигало 134-163 мг/сосуд, в то время как в почвах многолетнего пара – 83-111 мг азота на сосуд. Однако, относительное содержание закрепившегося в органической форме азота удобрений (% от внесенного) в почвах с годами (от 1-ого к 3-ему) заметно снижалось, особенно в вариантах севооборота и целины, что свидетельствует об интенсивной минерализации иммобилизованного азота в

почвах с высокой биологической активностью. К третьему году вегетационного опыта в этих почвах содержалось меньше иммобилизованного азота $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ на 6-7% от внесенного, чем в первом году. На протяжении трех лет опыта в почве варианта РК севооборота содержалось больше иммобилизованного азота удобрений, чем по вариантам NPK и NPK + навоз, что связано, по-видимому, с более интенсивной его минерализацией в этих вариантах.

Таблица 1.2.5

Иммобилизация азота меченой аммонийной селитры при ежегодном ее внесении в почве под растениями (мг N/сосуд/ % от внесенного)

Варианты многолетнего опыта		Содержание иммобилизованного азота удобрений в конце вегетации			Иммобилизованного азота удобрений в		
		1-го года	2-го года	3-го года	2-м году	3-м году	Среднее за 3 года
Многолетний пар	РК	40/13	80/13	111/12	58/19	53/18	50/17
	NPK	34/11	65/11	83/9	42/14	33/11	36/12
	РК+навоз	50/17	71/11	87/10	41/14	35/12	42/14
Севооборот	РК	74/25	130/22	163/18	68/23	55/18	66/22
	NPK	62/21	101/17	134/15	53/18	50/17	55/18
	РК+навоз	65/22	99/17	141/16	48/16	57/19	57/19
Целинная почва		66/22	99/17	145/16	49/16	64/21	60/20

Снижение относительного содержания иммобилизованного азота удобрений в почве с годами и увеличение абсолютного его содержания при ежегодном внесении удобрений отмечалось в работах других исследователей (Завалин и др., 2021; Кидин и др., 1979; Смирнов, 1982).

В парующей почве к концу каждого года вегетационного опыта содержалось гораздо меньше иммобилизованного азота удобрений, чем в почве под растениями (табл. 1.2.5). Так, в почвах севооборота в первом году опыта содержание закрепленного в почве в органической форме азота NH_4NO_3 составило под растениями 15-25%, в то время как в парующей почве

– 13-18% азота от внесенного (табл. 1.2.5 и 1.2.6). Подобную закономерность наблюдали в исследованиях (Смирнов, 1973; Смирнов, 1982).

Более интенсивная иммобилизация азота удобрений в засоленной почве объясняется тем, что растения обеспечивают почвенную микрофлору доступным энергетическим материалом. Это подтверждается практически одинаковыми размерами иммобилизации азота аммиачной селитры под растениями и в пару (22 и 21% в 1978 и 17 и 19% от внесенного во втором году, соответственно) в целинной почве богатой энергетическим материалом, а также возрастанием размеров закрепления в парующих почвах азота удобрений с увеличением содержания в них гумуса (табл.1.2.1 и 1.2.6).

Таблица 1.2.6

**Иммобилизация азота $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ в парующей почве,
мг N на сосуд/% от внесенного**

Иммобилизация азота	Почва			
	севооборота			целины
	РК	НРК	НРК+навоз	
Первый год опыта	44/15	45/15	53/18	64/21
Второй год опыта	38/13	42/14	50/17	56/19

Иммобилизованный азот удобрений включается в постоянно протекающие в почве процессы минерализации. Данные таблицы 1.2.7 показывают, что в почвах многолетнего пара, где закрепилось гораздо меньше азота $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$, минерализация его протекала не менее интенсивно, чем в других вариантах. Из иммобилизованного в почвах севооборота и целины азота удобрений убыль его за 1-й год последствия (2-й год опыта) составила в среднем 3,8-5,3% азота от внесенного, а в вариантах многолетнего пара – 3,9-6,8%. Сравнение размеров иммобилизации азота удобрений и его минерализации показывают, что в почвах многолетнего пара значительно большая часть иммобилизованного азота (34,1-45,4%) минерализовалась, чем в почвах севооборота и целины, в которых убыль

иммобилизованного азота составила за 1-й год 15,6-24,3% от закрепившегося азота.

Таблица 1.2.7

Минерализация иммобилизованного азота $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ в последствии в почве под растениями (в числителе – % от внесенного, в знаменателе – % от иммобилизованного)

Показатели		Варианты многолетнего опыта					Целинная почва	
		многолетний пар			севооборот			
		РК	НК	НК + навоз	РК	НК		НК + навоз
Закрепилось в почве в 1-м году (% от внесенного)		13,4	11,5	16,8	24,6	20,7	21,5	21,9
1 год последствия (2-й год опыта)	Осталось в почве ко 2-му году	$\frac{7,3}{54,6}$	$\frac{7,5}{65,9}$	$\frac{10,0}{59,4}$	$\frac{20,7}{84,4}$	$\frac{16,0}{77,3}$	$\frac{17,0}{78,8}$	$\frac{16,5}{75,7}$
	Убыль за 2-й год	$\frac{6,1}{45,4}$	$\frac{3,9}{34,1}$	$\frac{6,8}{40,6}$	$\frac{3,8}{15,6}$	$\frac{4,7}{22,7}$	$\frac{4,6}{21,2}$	$\frac{5,3}{24,3}$
2 год последствия (3-й год опыта)	Осталось в почве к 3-му году	$\frac{6,9}{51,9}$	$\frac{7,1}{62,4}$	$\frac{8,1}{47,9}$	$\frac{19,4}{79,1}$	$\frac{14,2}{68,8}$	$\frac{16,3}{75,4}$	$\frac{15,1}{69,5}$
	Убыль за 3-й год	$\frac{0,4}{2,7}$	$\frac{0,4}{3,5}$	$\frac{1,9}{11,5}$	$\frac{1,3}{5,3}$	$\frac{1,8}{8,5}$	$\frac{0,7}{3,4}$	$\frac{1,4}{6,2}$
Убыль иммобилизованного азота за 2 года		$\frac{6,5}{48,1}$	$\frac{4,3}{37,6}$	$\frac{8,7}{52,1}$	$\frac{5,1}{20,9}$	$\frac{6,5}{31,2}$	$\frac{5,3}{24,6}$	$\frac{6,7}{30,5}$
Закрепилось в почве во 2-м году опыта (% от внесенного)		19,5	14,0	13,8	22,6	17,8	16,1	16,4
1 год последствия (3-й год опыта)	Осталось в почве к 3-му году	$\frac{12,3}{63,4}$	$\frac{9,6}{68,8}$	$\frac{9,3}{67,3}$	$\frac{16,6}{73,1}$	$\frac{13,9}{78,0}$	$\frac{11,6}{72,4}$	$\frac{11,9}{72,6}$
	Убыль за 3-й год	$\frac{7,1}{36,6}$	$\frac{4,4}{31,2}$	$\frac{4,5}{32,7}$	$\frac{6,1}{26,9}$	$\frac{3,9}{22,0}$	$\frac{4,4}{27,6}$	$\frac{4,5}{27,4}$

Такие различия обусловлены неодинаковым составом органического вещества этих почв. Так, (Лыков и др., 1975) отмечают различный

фракционный состав гумуса почв севооборота и многолетнего пара и различную способность его к минерализации.

За второй год последствий во всех почвах опыта минерализация иммобилизованного азота протекала значительно медленнее, чем в 1-й год. Размеры минерализации закрепленного азота удобрений во 2-й год последствий колебались в пределах 0,4-1,9% от внесенного, что связано с более прочным закреплением оставшегося азота удобрений. В сумме за 2 года почвы не различались существенно по абсолютному размеру минерализации иммобилизованного азота $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$, хотя в почвах многолетнего пара минерализовалось за этот период 37,6-52,1% закрепившегося азота, в то время как в почвах севооборота и целины – всего 20,9-31,2%.

Таким образом, в плодородных почвах севооборота и целины под растениями происходило более интенсивное и более прочное закрепление азота аммиачной селитры в составе органического вещества по сравнению с почвами многолетнего пара. В парующих почвах размеры иммобилизации азота удобрений были меньше.

1.3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДОБРЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Производство и применение минеральных удобрений в нашей стране началось в 1913 г. и уже к 1940 г. составило около 800 тыс. т. действующего вещества (Прянишников, 1962). Для того, чтобы эти удобрения могли эффективно использоваться в 1931 г. был создан Всероссийский институт удобрений в задачи которого входило: изучение эффективности минеральных удобрений в различных природно-климатических условиях страны, научное обоснование их размещения по зонам и их распределение между важнейшими сельскохозяйственными культурами, оказание научно-

методической помощи зональными опытными учреждениями и сельскохозяйственному производству (История развития ..., 2001).

Для организации этой работы в 1941 г. была создана Географическая сеть полевых опытов с удобрениями, научно-методическое руководство которой было возложено на ВИУА (ныне ВНИИ агрохимии) (Сычев, Минеев, 2011). На первом этапе работа Геосети была направлена на получение научных данных для обоснования размещения удобрений по территории страны, определение доз питательных веществ под различные сельскохозяйственные культуры, разработку региональных систем удобрений и химических мелиорантов. На Геосеть возлагалась задача по пропаганде научно обоснованного применения удобрений (Налиухин, 2021). В дальнейшем, на каждом этапе развития химизации, требовались иные, более подробные данные о процессах взаимодействия между почвой, удобрениями и растениями из-за большого многообразия факторов, оказывающих влияние на продуктивный процесс (Развитие агрохимии в России ..., 1999).

Особо остро эта проблема возникла в середине 60-х годов прошлого столетия, когда стало наращиваться производство минеральных удобрений. Объем которых, начиная с 1965 г. увеличился за 5 лет в 4-5 раз. Для рационального использования такого количества удобрений потребовались более глубокие знания о состоянии плодородия почв в каждом сельскохозяйственном предприятии и эффективности минеральных удобрений. С этой целью в 1964 г. в стране была создана Государственная агрохимическая служба, состоящая из сети зональных агрохимических лабораторий в каждом административном образовании (автономная республика, край, области). Она стала связующим звеном между наукой и производством по вопросам применения минеральных, известковых и органических удобрений (ЦИНАО -30 лет, 1999).

В период становления на агрохимическую службу возлагалось проведение агрохимического обследования почв сельскохозяйственного

назначения. К середине 70-х годов закончился первый цикл агрохимического обследования пахотных почв страны и каждое сельскохозяйственное предприятие располагало картограммами полей по степени кислотности и содержанию в них основных питательных веществ. Допускалось, что наличие агрохимических картограмм вполне достаточно для определения доз удобрений на запланированный урожай. Однако пути использования этих материалов не объяснилось, поскольку не было соответствующих методических разработок. В связи с этим учеными ВИУА совместно со специалистами агрохимической службы проведена большая работа по созданию научных основ и рекомендаций по установлению доз удобрений по 22 природно-климатическим зонам страны с учетом результатов обследования почв по степени кислотности и содержанию в них основных питательных веществ, т.е. была сделана попытка связать в единую систему данные по обследованию почв и эффективность удобрений, полученные в полевых опытах (Сычев, Минеев, 2011).

Например, в рекомендациях по применению удобрений по Нечерноземной зоне европейской части РСФСР дозы азота на дерново-подзолистых почвах под озимую пшеницу намечено увеличивать по мере прироста урожайности, фосфорные и калийные – снижалось при возрастании степени обеспеченности почв подвижными формами этих элементов. Безусловно, подобные разработки явились тогда шагом вперед по данному направлению (Шафран, 2019).

Наряду с этим, в ВИУА было обращено особое внимание на решение фосфатной проблемы, так как результаты первого цикла агрохимического обследования говорили о том, что 44% пахотных почв характеризовалось низким содержанием подвижного фосфора.

Для того, чтобы научно обосновать влияние степени обеспеченности различных почв на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них фосфорных удобрений по инициативе ВИУА была проведена серия полевых опытов с искусственно созданными

фосфатными фонами, в которых имелась возможность выделить действие содержания подвижного фосфора при всех прочих равных условиях. Это позволило в короткий срок получить надежную информацию по изучаемой проблеме и использовать ее при разработке технологий повышения фосфатного уровня почв при проведении работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей (КАХОП), для организации этой работы на научной основе были разработаны «Временные нормативы затрат удобрений на проведение работ по комплексному агрохимическому окультуриванию» (Временные нормативы ..., 1982) и «Методические указания по комплексному агрохимическому окультуриванию полей» (Методические указания ..., 1985). В основу этих разработок были взяты результаты опытов с искусственно созданными фосфатными фонами и материалы длительных полевых опытов ВИУА, опубликованные в специальных сборниках, в которых наряду с работами по повышению фосфатного уровня почв предусматривалось также снижение их кислотности и улучшения калийного режима (Шкуркин и др., 2021).

Согласно первому циклу обследования 57% пашни России характеризовалось кислой реакцией среды и 16% низкой степенью обеспеченности K_2O . В Нечерноземной зоне почвы с кислой реакцией среды составляли 83%, с низким содержанием P_2O_5 64% и калием 39%.

Проведение работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей дало возможность за 25 лет уменьшить долю пашни с низким содержанием подвижного фосфора до 22%, подвижного калия до 9%. Особенно заметны позитивные изменения в Нечерноземной зоне (Сычев, 2016).

Работы по комплексному агрохимическому окультуриванию полей совпали во времени с внедрением интенсивных технологий в растениеводстве, наибольший эффект от которых можно получить только на высокоокультуренных почвах. Интенсивные технологии сельскохозяйственных культур отличаются от базовых сбалансированностью

всех факторов в формировании урожайности и качества растениеводческой продукции. Важная роль при этом относится к применению удобрений. В данном случае комплексное агрохимическое окультуривание полей позволяет создать оптимальный уровень почвенной кислотности и степени обеспеченности подвижными формами фосфора и калия. Регулирование азотного питания растений должно достигаться по иным критериям, поскольку периодическое обследование один в 5-10 лет, как это принято в агрохимической службе, не может учесть всего многообразия круговорота азота и тех скоротечных изменений, которые происходят в почве под влиянием различных факторов (Минеев, 2006).

Исходя из того, что почвенно-климатические условия России весьма разнообразны, ВИУА совместно с научно-исследовательскими предприятиями страны разработаны региональные диагностические системы, которые успешно использовались для определения потребности зерновых культур в азотных удобрениях, возделываемых как по базовым, так и по интенсивным технологиям (Сычев, Минеев, 2011).

Проведение агрохимической службой обследования посевов с помощью методов почвенно-растительной диагностики и применения азотных удобрений с учетом ее результатов позволяло за счет правильного распределения их по полям оптимизировать питание культур, исключить непродуктивный расход азота на формирование урожайности и предотвратить загрязнение окружающей среды. Рациональное использование азотных удобрений в ряде краев, областей и автономных республик позволило увеличить сбор зерновых культур, повысить качество зерна, окупаемость азота с 3-4 до 8-10 кг/кг и выход кормового белка в 1,5 раза. Так, оптимизация азотного питания озимой пшеницы на основе комплексной почвенно-растительной диагностики позволила получить в хозяйствах Краснодарского края свыше 2 млн. т. ценного продовольственного зерна. В Самарской области, где применение азотных удобрений осуществлялись согласно результатам почвенно-растительной диагностики, окупаемость

азота прибавкой урожая озимой и яровой пшеницы составили 10 кг/кг, и в пахотных случаях достигала 20 кг/кг (Шафран, 2019).

За годы интенсивной химизации научно-исследовательскими учреждениями страны под руководством ВИУА и ЦИНАО было разработано более 10 нормативных документов по вопросам планирования использования удобрений на уровне страны, природно-экологических зон и экономических районов. Основным документом, характеризующим эффективность возрастающих доз минеральных удобрений, являлись «Нормативы для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях» для основных сельскохозяйственных культур (Нормативы для определения ..., 1985). Они были предназначены республиканскому и региональным плановым и сельскохозяйственным органам для крупномасштабного планирования объемов применения удобрений и их рационального распределения в условиях планового ведения сельского хозяйства.

Однако данные нормативы не могли использоваться непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях, поскольку они не привязаны к типам почв и их агрохимическим свойствам. Введение поправочных коэффициентов на содержание подвижных форм фосфора и калия в почве не решило проблемы, так как каждого элемента питания в прибавке урожая от НРК не вычленилось и условно принималась равной. Это приводило к занижению эффективности азотных удобрений и завышению фосфорных и калийных. Кроме того, эти нормативы охватывали довольно узкий диапазон доз (только три уровня) и не рассчитаны на урожаи выше 40 ц/га зерновых культур (Шафран, 2019).

В методах, в основу которых положен принцип баланса питательных веществ, уязвимым листом являются коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений, так как на величину этих показателей оказывает влияние множество различных факторов, которые в сильной степени варьируют от складывающихся условий и их очень трудно учесть при расчетах.

Наряду с этим, к данному времени в стране изменились экономические условия, резко изменилось соотношение цен на минеральные удобрения и сельскохозяйственную продукцию, что и повлекло за собой необходимость более экономичного расходования питательных веществ как удобрений, так и почвы, накопленных за годы интенсивного применения средств химизации.

Для того, чтобы проводить такую работу потребовалось создание иных нормативов, позволяющих решать более конкретные задачи, максимально приближенные к условиям производства и их базе создать соответствующие методические принципы и подходы.

К настоящему времени на основании обработки обширного экспериментального материала, полученного учреждениями Геосети и агрохимической службы ВНИИА разработано несколько основополагающих документов, характеризующих эффективность применения минеральных удобрений на основных типах страны под зерновые культуры, картофель, лен-долгунец и сахарную свеклу (Сычев и др., 2016; Нормативы оценки ..., 2000; Региональные нормативы ..., 2016). В отличие от ранее разработанных, эти документы составлены с учетом типа и подтипа почв и дифференцированы по их агрохимическим свойствам, что позволяет использовать их на всех уровнях сельскохозяйственного производства, в первую очередь, непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях.

Разработанная ВНИИ агрохимии нормативно-справочная информация включает: данные по влиянию агрохимических свойств почв на урожайность сельскохозяйственных культур, прибавку урожайности от минеральных удобрений, их окупаемость этой прибавкой (Региональные нормативы ..., 2016). Это позволяет устанавливать дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений с учетом комплекса агрохимических свойств почв и условия запланированной урожайности, прогнозировать эффективность применения минеральных удобрений, оценивать не только агрохимическую, но и экономическую эффективность.

Применение минеральных удобрений по предлагаемым нормативам даст возможность оптимизировать дозы, ассортимент, повысить их окупаемость, сохранить удельные затраты питательных веществ на формирование урожайности сельскохозяйственных культур и снизить себестоимость производимой продукции.

К настоящему времени агрохимической наукой накоплен большой экспериментальный материал по эффективности минеральных удобрений, роли отдельных параметров почв в формировании урожайности и взаимодействии с другими агрохимическими и природными факторами. В последнее время усилилась работа по выведению новых сортов культур, которые отличаются более высокой продуктивностью. По данным полевого опыта ВНИИА применение высоких доз минеральных удобрений под новые сорта озимой пшеницы селекции НИИСХ ЦРНЗ «Немчиновка» на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве обеспечило получение от 5,6 до 9,3 т/га (Сандухадзе и др., 2021). Однако потенциал этих сортов реализуется в производственных условиях только на 30-40%. Основной причиной является несоответствие почвенно-агрохимических условий полей, на которых были выведены высокоурожайные сорта и полей сельскохозяйственных предприятий. Например, поля НИИСХ ЦРНЗ, на которых испытывались новые сорта и характеризовались очень высоким содержанием подвижного фосфора (270-355 мг/кг), тогда как таких площадей в Нечерноземной зоне насчитывается 11%. Кроме того, под эти сорта были внесены минеральные удобрения в высоких дозах – от 180 до 360 кг/га NPK, а в Нечерноземной вносятся под зерновые культуры всего лишь 35-40 кг/га посевной площади. Следовательно, для того, чтобы новые сорта сельскохозяйственных культур обеспечили наибольшую отдачу от их внедрения необходимо расширить сеть опытов по изучению влияния агрохимических свойств почв и минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. Причем, проведение таких опытов целесообразно не только на полях научных учреждений, но и на полях сельскохозяйственных предприятий как делалось

ранее агрохимической службой России. Объединение научных данных позволило ВНИИА разработать упомянутые нормативы. Однако рано или поздно они устареют, поскольку не будут соответствовать новым сортам. Подобная работа должна проводиться постоянно.

Вместе с тем, особое внимание следует обратить на проведение длительных полевых опытов, которые позволяют установить влияние удобрений не только на урожайность сельскохозяйственных культур и их качества, но на изменение уровня плодородия почв по агрохимическим показателям. Как уже неоднократно нами отмечалось, что увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия происходит в тех случаях, когда их внесение в почву превышает вынос урожаями. Превышение выноса этих питательных веществ над поступлением приводит к снижению их запасов в почве. В наибольшей степени такая картина наблюдается в Нечерноземной зоне, в которой в настоящее время резко сократилось применение удобрений. Баланс фосфора и калия стал складываться со значительным превышением их выноса над поступлением в почву, что повлекло за собой снижение уровня содержания подвижных форм этих элементов в почве. Для того, чтобы с одной стороны принимать меры по повышению содержания P_2O_5 и K_2O в почвах, с другой – прогнозировать снижение степени обеспеченности этими питательными веществами требуется более совершенная нормативно-справочная база, которую можно получить только в длительных полевых опытах.

К сожалению, количество таких опытов в силу различных причин по степени сокращается. Наряду с этим, оставшиеся в большинстве опыты проводятся по устаревшим программам, поскольку в них испытываются дозы, которые имели смысл в период интенсивной химизации. В то время, как правило, опыты закладывались на почвах, которые характеризовались низкими агрохимическими показателями. Со временем изменение действия различных доз удобрений позволило значительно повысить фосфатный и калийный режим многих почв и к настоящему времени в длительных

полевых опытах агрохимические свойства почв стали существенно различаться по вариантам опытов и поэтому при оценке эффективности удобрений допускаются определенные ошибки. В большей степени это касается содержания подвижного фосфора. Например, в длительном полевом опыте ВНИИА на дерново-подзолистой почве исходное содержание подвижного фосфора составило 45 мг/кг, а через 50 лет в варианте с систематическим применением фосфорных удобрений достигло 93 мг/кг. Продуктивность севооборота в 11-ой ротации составила 38,4 ц/га з.е., а прибавка по сравнению с фоном НК – 11,5 ц/га. В данном случае прирост продуктивности севооборота происходил за счет внесения фосфорных удобрений, т.е. свежевнесенных фосфатов и увеличения содержания подвижного фосфора в почве (Шафран, Кирпичников, 2019). Однако оценить вклад этих факторов отдельно друг от друга в формирование урожайности не представляется возможным. В связи с этим, в подобной ситуации имеет смысл использовать метод расщеплённых делянок, разделив каждую из них на две части. В одной из них продолжают исследования в той же дозе, а на другой не вносят удобрения, т.е. изучать последствие ранее внесенных удобрений. Это позволит оценить эффективность удобрений на разных уровнях содержания элементов питания в почве и установить закономерности снижения степени обеспеченности почвы питательными веществами на почвах различной степени их окультуренности.

Анализ опубликованных материалов по результатам длительных полевых опытов показал, что научно-исследовательскими учреждениями была проведена большая работа увеличению эффективности применения удобрений в основных природно-климатических зонах страны.

1.4. ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Яровая пшеница является одной из важнейших сельскохозяйственных культур и в настоящее время занимает второе место среди зерновых по посевной площади. В 2020 году ею было засеяно 12,5 млн га, что составляет 26,2% от всех площадей, отведенных под зерновые культуры, или 15,7% общей посевной площади с.-х. угодий. При средней урожайности 1,88 т/га, валовый сбор яровой пшеницы составляет 22,7 млн т. (Сельское хозяйство в России, 2021).

По сравнению с прочими яровыми зерновыми культурами, яровая пшеница является наиболее требовательной к обеспеченности питательными веществами, ее урожайность и качество зерна существенно изменяются в зависимости от технологии возделывания, и, в первую очередь, от уровня минерального питания. В условиях Нечерноземья, наибольший вклад в формирование урожая вносят азотные удобрения, но, вместе с тем, по мере интенсификации земледелия (химизации, введения новых высокопродуктивных сортов и т.д.) усиливается и отзывчивость растений на содержание в почве подвижных фосфатов (Богдевич и др., 2010; Шафран, Духанина, 2015).

Высокие цены на минеральные удобрения и, как следствие, снижение объема их применения, привели к снижению обеспеченности пахотных почв питательными элементами, в особенности фосфором. А доля земель с низкой и очень низкой обеспеченностью подвижными фосфатами сейчас составляет около 25%. В свою очередь, выращивание растений в условиях дефицита фосфора может приводить не только к существенному снижению урожая, но и ухудшению его качества. (Казак, 2009; Малявин и др., 2022; Пискунова, Федорова, 2018).

Изучение влияния доз и форм азотных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при разной обеспеченности

подвижными фосфатами проводили в условиях вегетационных (Лапушкин и др., 2022; Лапушкин, Нестеренко, 2019) и мелкоделяночных полевых опытов (Белобусов и др., 2021; Нестеренко, Лапушкин, 2021). Почву с разным содержанием подвижных фосфатов для проведения вегетационных опытов заготавливали с делянок полевых опытов ЦОС ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова. Там же, путем внесения фосфоритной муки, моделировали три фона обеспеченности фосфором для проведения полевых исследований. Применение фосфоритной муки на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с низким содержанием фосфора из расчета 300 и 700 кг P_2O_5 /га позволило повысить содержание доступных фосфатов до уровня III и IV группы обеспеченности. Норматив затрат P_2O_5 для повышения содержания фосфора на 10 мг/кг составил 65 кг/га.

Почва характеризовалась низким содержанием гумуса и легкогидролизуемого азота, среднекислой реакцией среды, содержание фосфора соответствовало низкой, средней и повышенной (а в вегетационных опытах - высокой) обеспеченности. Содержание легкодоступных фосфатов по Карпинскому-Замятиной соответствовало среднему и высокому уровню.

В виду высокой степени насыщенности почвы основаниями (79-83%) известкование не проводили, не смотря на среднекислую реакцию солевой вытяжки.

Объектом исследования являлась мягкая яровая пшеница среднеспелых сортов Любава и Московская 35. Сорты выведены ФГБНУ «ФИЦ Немчиновка», включены в реестр в 2012 г. (Любава) и 1975 г. (Московская 35) и районированы для выращивания в центральном регионе.

Результаты проведенных вегетационных опытов (табл. 1.4.1, рис. 1.4.2) показали, что связь между величиной сформированного урожая зерна и дозами внесенных азотных удобрений характеризовалась как прямая по направлению и заметная по тесноте ($r=0,68$). При этом, максимальный урожай зерна яровой пшеницы в среднем за три года наблюдений был получен в вариантах с внесением 150 мг N/кг почвы.

Таблица 1.4.1

Урожай яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижными фосфатами (вегетационные опыты)

Урожай зерна, г/сосуд							
Фактор А	Фактор В						Среднее по А
	0	N ₅₀	N ₁₀₀	N ₁₅₀	N ₂₀₀	N ₂₅₀	
2017 г (НСР ₀₅ = 1,60)							НСР ₀₅ (А) = 0,65
Низкое содержание P ₂ O ₅	4,63	5,73	8,84	10,56	10,76	7,88	8,07
Среднее содержание P ₂ O ₅	6,96	12,36	13,96	15,82	16,37	16,36	13,64
Высокое содержание P ₂ O ₅	8,24	12,64	15,21	15,73	15,68	15,52	13,84
Среднее по В, НСР ₀₅ (В) = 0,92	6,61	10,24	12,67	14,04	14,27	13,25	-
2018 г (НСР ₀₅ = 1,18)							НСР ₀₅ (А) = 0,48
Низкое содержание P ₂ O ₅	4,86	8,64	12,19	13,82	12,43	10,76	10,45
Среднее содержание P ₂ O ₅	5,53	10,75	14,03	14,95	14,50	13,58	12,22
Высокое содержание P ₂ O ₅	8,03	11,25	13,48	14,56	14,13	15,45	12,81
Среднее по В, НСР ₀₅ (В) = 0,68	6,14	10,21	13,23	14,44	13,68	13,26	-
2019 г (НСР ₀₅ = 2,03)							НСР ₀₅ (А) = 0,83
Низкое содержание P ₂ O ₅	6,99	12,77	17,65	18,49	18,92	19,11	15,65
Среднее содержание P ₂ O ₅	5,88	13,86	18,43	22,29	19,14	20,12	16,62
Высокое содержание P ₂ O ₅	7,11	14,51	20,48	24,20	24,58	26,21	19,51
Среднее по В, НСР ₀₅ (В) = 1,17	6,66	13,71	18,85	21,66	20,88	21,81	-

Также установлено, что эффективность азотных удобрений находилась в тесной зависимости от обеспеченности почвы подвижными фосфатами. Связь между обеспеченностью фосфором и прибавками урожая, полученными при внесении разных доз азота, усиливалась с ростом содержания в почве фосфора, при этом коэффициент корреляции изменялся с

$r=0,61$ до $r=0,74$. В связи с чем, в среднем за три года урожай был заметно выше при более высокой обеспеченности фосфором (17,69-18,16 г/сосуд, против 14,29 г/сосуд на почве с низким содержанием фосфора).

Дальнейшее увеличение доз азотных удобрений до 250 мг/кг почвы не приводило к существенному росту урожая и, напротив, достоверно снижало его при выращивании растений на почве с низким содержанием P_2O_5 .

Выводы, сделанные в условиях вегетационных исследований, были подтверждены при проведении полевых опытов, в которых урожай зерна яровой пшеницы достоверно увеличивался как при внесении возрастающих доз азота, так и с ростом обеспеченности почвы подвижными фосфатами (табл. 1.4.2). В среднем за три года наблюдений урожай зерна на почве со средней и повышенной обеспеченностью P_2O_5 был выше на 15-26%.

Таблица 1.4.2

Урожай яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижными фосфатами (полевые опыты)

Урожай зерна, т/га					
Фактор А	Фактор В				Среднее по А
	0	N ₆₀	N ₉₀	N ₁₂₀	
2018 г (НСР ₀₅ = 0,30)					НСР ₀₅ (А) = 0,15
Низкое содержание P_2O_5	1,49	1,93	1,92	2,25	1,90
Среднее содержание P_2O_5	1,95	2,14	2,42	2,37	2,22
Повышенное содержание P_2O_5	1,73	2,07	2,12	2,27	2,05
Среднее по В, НСР ₀₅ (В) = 0,17	1,72	2,05	2,15	2,30	-
2019 г (НСР ₀₅ = 0,31)					НСР ₀₅ (А) = 0,16
Низкое содержание P_2O_5	1,08	1,28	1,23	1,25	1,21
Среднее содержание P_2O_5	1,53	1,64	1,83	1,88	1,72
Повышенное содержание P_2O_5	1,54	1,77	2,09	2,56	1,99
Среднее по В, НСР ₀₅ (В) = 0,18	1,39	1,56	1,72	1,90	-
2020 г (НСР ₀₅ = 0,27)					НСР ₀₅ (А) = 0,14
Низкое содержание P_2O_5	1,78	2,27	2,95	3,25	2,56
Среднее содержание P_2O_5	1,98	2,54	3,23	3,51	2,81
Повышенное содержание P_2O_5	2,12	2,69	3,41	3,69	2,97
Среднее по В, НСР ₀₅ (В) = 0,16	1,96	2,50	3,19	3,48	-

При этом теснота связи между содержанием в почве подвижного фосфора и прибавками от азотных удобрений усиливалась с ростом содержания P_2O_5 от умеренной ($r=0,35$) до заметной ($r=0,60$)

Анализ структуры полученного урожая показал, что увеличение урожайности при внесении возрастающих доз азотных удобрений происходил как за счет увеличения озерненности колосьев, так и за счет формирования более крупного зерна (рис. 1.4.1, табл. 1.4.3).

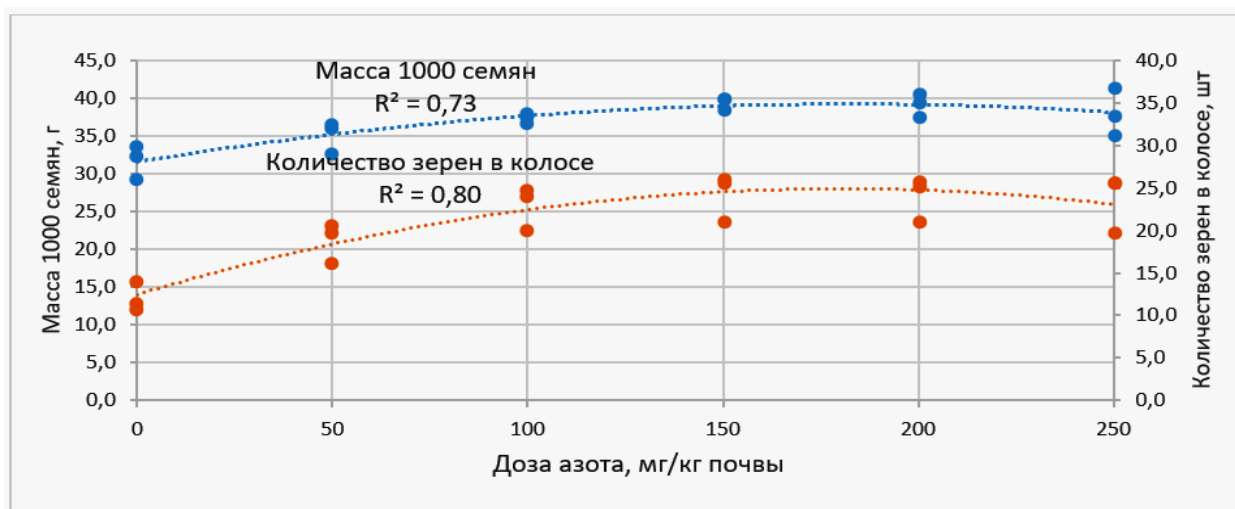


Рисунок 1.4.1 – Формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений (вегетационные опыты)

В среднем за три года опытов увеличение количества зерен в колосе на почве со средним и повышенным содержанием фосфора было на 21 и 24% выше, чем на почве с низкой обеспеченностью фосфатами, а возрастающие дозы азота способствовали увеличению озерненности колосьев на 50-128% по сравнению с контролем.

Натура зерна в большей степени изменялась с усилением фосфорного питания. Так на почве с повышенной обеспеченностью фосфором этот показатель был выше на 4-6%, а дозы азотных удобрений существенно не влияли на этот показатель качества.

Структура урожая яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности подвижными фосфатами (полевые опыты)

Содержание фосфора	Дозы азота кг/га			
	0	N ₆₀	N ₉₀	N ₁₂₀
Натура, г/л				
Низкое содержание P ₂ O ₅	792	808	807	808
Среднее содержание P ₂ O ₅	812	814	814	816
Повышенное содержание P ₂ O ₅	836	839	847	848
Масса 1000 семян, г				
Низкое содержание P ₂ O ₅	36,6	37,1	37,0	37,2
Среднее содержание P ₂ O ₅	37,2	38,9	39,5	38,5
Повышенное содержание P ₂ O ₅	38,1	38,9	40,1	40,3
K _{хоз}				
Низкое содержание P ₂ O ₅	0,37	0,38	0,39	0,39
Среднее содержание P ₂ O ₅	0,38	0,37	0,38	0,37
Повышенное содержание P ₂ O ₅	0,36	0,37	0,39	0,40

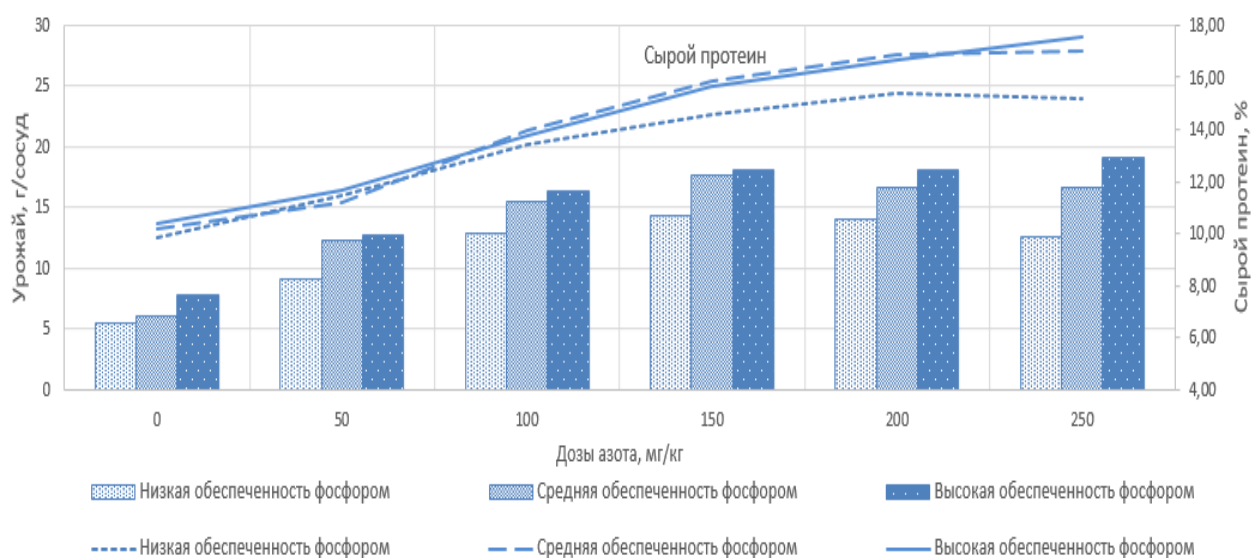


Рисунок 1.4.2 – Изменение урожайности яровой пшеницы и белковости зерна в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы фосфором

В свою очередь, усиление азотного питания на фоне повышенной обеспеченности фосфором увеличивало долю товарной части урожая в общей надземной массе с 36 до 40%.

Результаты вегетационных и полевых опытов наглядно показали, что уровень минерального питания растений оказал влияние на формирование качества зерна яровой пшеницы (рис. 1.4.2, табл. 1.4.4). Обобщение данных трех лет наблюдений позволило сделать вывод о том, что внесение в почву возрастающих доз азотных удобрений, в большей степени, способствовало накоплению в товарной части урожая сырого протеина, что наряду с ростом урожайности обеспечило существенное увеличение сбора белка с единицы площади. Также усиление питания растений азотом приводило к снижению содержания в зерне жиров и полисахаридов – крахмала и клетчатки, но несколько увеличивало накопление простых сахаров, а также долю минеральной части.

В условиях полевого опыта с ростом обеспеченности почвы подвижным фосфором, в зерне также увеличивалось содержание сырого протеина, жира, клетчатки и золы, но снижалось количество крахмала и сахаров.

Также нашими исследованиями показана неодинаковая отзывчивость сортов яровой пшеницы на изменения уровня минерального питания. Так, зерно пшеницы современного сорта Любава отличалось более высоким содержанием белка (17,5-18,8%) по сравнению с Московской 35 (14,0-15,0%), особенно при оптимизации азотно-фосфорного питания (табл. 1.4.5).

В зерне сорта Любава также отмечалось меньшее содержание небелкового азота, доля которого составляла 3-5% от общего его содержания азота, против 4-8% в зерне сорта Московская 35. В среднем за два года в вариантах с внесением оптимальной и повышенной дозы азота содержание белка было достаточно высоким и изменялось в диапазоне от 14,0% до 18,8%.

Химический состав зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижными фосфатами (вегетационные опыты)

Вариант	Химический состав, % на ст. вл.					
	Жир	Протеин	Клетчатка	Зола	Крахмал	Сахар
Низкое содержание P ₂ O ₅						
0	1,9	9,9	0,9	1,3	57,0	3,4
N ₅₀	1,9	11,4	1,1	1,5	55,0	3,5
N ₁₀₀	1,7	13,4	0,9	1,5	53,9	4,1
N ₁₅₀	1,4	14,6	0,6	1,4	52,9	4,1
N ₂₀₀	1,3	15,4	0,6	1,5	52,3	4,1
N ₂₅₀	1,2	15,2	0,4	1,4	53,2	3,9
Среднее содержание P ₂ O ₅						
0	2,0	10,2	1,0	1,3	56,0	2,8
N ₅₀	1,9	11,2	1,2	1,5	55,0	3,0
N ₁₀₀	1,7	14,0	1,0	1,6	53,2	3,4
N ₁₅₀	1,4	15,9	0,7	1,5	51,4	3,4
N ₂₀₀	1,3	16,9	0,7	1,6	50,5	4,0
N ₂₅₀	1,3	17,0	0,8	1,6	50,1	4,3
Высокое содержание P ₂ O ₅						
0	2,0	10,4	1,2	1,4	55,3	2,7
N ₅₀	2,0	11,7	1,4	1,6	53,4	2,9
N ₁₀₀	1,6	13,7	1,1	1,6	53,0	3,3
N ₁₅₀	1,4	15,7	0,7	1,6	51,3	3,4
N ₂₀₀	1,4	16,7	0,9	1,6	50,1	3,6
N ₂₅₀	1,3	17,6	0,7	1,7	49,4	3,7

Белковость зерна при внесении азота в дозах от 50 до 250 мг/кг почвы, возрастала, главным образом, за счет увеличения доли спирто- и щелочерастворимых белков – глиадинов и глютеинов при одновременном снижении количества легкорастворимых (альбуминов и глобулинов) и неэкстрагируемых белков.

Было установлено, что усиление фосфорного питания, в свою очередь также способствовало усилению синтеза преимущественно глиадинов и, в

меньшей степени, глютелинов и снижало содержание альбуминов и глобулинов.

Таблица 1.4.5

Содержание азотистых веществ в зерне пшеницы в зависимости от уровня азотно-фосфатного питания (вегетационные опыты)

Вариант		% от сухой массы зерна				
		Белок	Сырой протеин	Азот общ	Азот белк.	Азот небелк.
Любава						
Низкая обеспеченность фосфором	0	10,8	11,5	2,01	1,90	0,11
	N ₅₀	12,1	12,7	2,22	2,12	0,11
	N ₁₅₀	17,7	18,2	3,20	3,10	0,09
	N ₂₅₀	18,1	18,9	3,31	3,18	0,13
Повышенная обеспеченность фосфором	0	11,4	11,9	2,08	2,00	0,09
	N ₅₀	11,4	12,0	2,10	1,99	0,10
	N ₁₅₀	17,5	18,0	3,15	3,06	0,09
	N ₂₅₀	18,8	19,4	3,41	3,29	0,11
Московская 35						
Низкая обеспеченность фосфором	0	11,1	11,9	2,08	1,94	0,14
	N ₅₀	10,8	11,5	2,02	1,89	0,13
	N ₁₅₀	15,0	15,7	2,76	2,63	0,12
	N ₂₅₀	14,4	15,1	2,65	2,53	0,12
Повышенная обеспеченность фосфором	0	10,7	11,6	2,03	1,87	0,15
	N ₅₀	9,9	10,8	1,90	1,74	0,15
	N ₁₅₀	14,0	14,8	2,60	2,45	0,14
	N ₂₅₀	14,5	15,1	2,65	2,54	0,11

Интенсивность усвоения азота растениями и включения его в продукционный процесс зависит от комплекса процессов трансформации его в почве, климатических условий, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, а также формы применяемого удобрения (Завалин и др., 2019; Цыбулько, 2018). В наших исследованиях влияние уровня фосфорного питания на усвоение растениями азота удобрений изучали в вегетационном опыте с использованием метода изотопной

индикации с применением стабильного изотопа ^{15}N . При набивке сосудов в почву вносили общемеченную аммиачную селитру ($^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$) с обогащением 1,3 ат. %.

Проведенные исследования показали, что эффективность азотных удобрений существенно увеличивается при повышении обеспеченности растений подвижными фосфатами (табл. 1.4.6). Потребление растениями внесенного с удобрениями азота возрастает в 2 и более раза, с 60-248 мг/сосуд на почве с низким содержанием фосфора до 108-688 мг/сосуд при высоком содержании P_2O_5 . Дефицит фосфора не позволил растениям в полной мере усвоить азот удобрений, что подтверждается крайне низкими коэффициентами использования, определенными изотопным методом – 20-29%. При среднем содержании фосфора в почве максимально полное усвоение азота происходило при внесении минимальной и средней дозы азота (50 и 150 мг/кг) – 61%, дальнейшее же увеличение дозы азота приводило к снижению коэффициента использования до 45%. Этого не наблюдалось на почве с высокой обеспеченностью подвижными фосфатами. Даже при внесении максимальной дозы азота – 250 мг/кг КИУ снижался незначительно с 59% до 55%.

Выявленные в вегетационных исследованиях закономерности были подтверждены и в полевых опытах. Следует отметить, что в среднем за три года исследований, коэффициенты использования азота были довольно низкими, что объясняется аномальными условиями увлажнения в июне 2018 года и мае-июне 2019 года, что не позволило растениям в полной мере использовать питательные вещества (табл. 1.4.7).

Показано, что при средней и низкой обеспеченности почвы подвижным фосфором, коэффициенты использования азота удобрений в среднем за три года не превышали 25%. В свою очередь, усиление фосфорного питания растений усиливало усвоение ими азота, КИУ возрастали до 36-48%, а окупаемость азота удобрений прибавками урожая увеличивалась до 8,2-8,7 кг/кг при применении азота 90 и 120 кг/га.

Потребление растениями азота из почвы и удобрений (вегетационные опыты с ^{15}N)

Доза азота	Потребление азота, мг/сосуд				КИУ _N изотопн.
	Общее	Из почвы	Из удобрений	Доля азота уд., % от общ.	%
Низкое содержание P ₂ O ₅					
0	106	106	-	-	
N ₅₀	146	86	60	41	24
N ₁₅₀	308	92	216	70	29
N ₂₅₀	290	42	248	86	20
Среднее содержание P ₂ O ₅					
0	136	136	-	-	
N ₅₀	276	127	149	54	60
N ₁₅₀	551	94	457	83	61
N ₂₅₀	603	45	558	93	45
Высокое содержание P ₂ O ₅					
0	167	167	-	-	
N ₅₀	244	136	108	44	43
N ₁₅₀	576	129	447	78	59
N ₂₅₀	744	56	688	92	55

Проведенные полевые опыты также показали неодинаковую отзывчивость яровой пшеницы на внесение разных форм азотных удобрений (рис. 1.4.3). Действие разных форм на урожай усиливалось с ростом обеспеченности почвы подвижным фосфором, но зависело от погодных условий конкретного вегетационного периода. Так, в засушливом 2019 году наиболее высокий урожай был получен при внесении азота в более подвижной, – нитратной форме (кальциевая селитра), но в среднем за три года наиболее эффективной формой внесения азота была серосодержащая – сульфат аммония.

Потребление растениями азота и коэффициенты его использования из удобрений (полевые опыты)

Доза азота	Потребление азота, кг/га			КИУ	Окупаемость прибавкой урожая
	Общее	Из удобрений	Доля азота уд., % от общ.	%	кг/кг
Низкое содержание P ₂ O ₅					
K ₁₂₀ (фон)	43,8	-	-	-	-
Фон + N ₆₀	60,1	16,3	27	27	6,3
Фон + N ₉₀	64,3	20,5	32	23	6,5
Фон + N ₁₂₀	72,9	29,1	40	24	6,7
Среднее содержание P ₂ O ₅					
K ₁₂₀ (фон)	61,2	-	-	-	-
Фон + N ₆₀	73,9	12,7	17	21	4,8
Фон + N ₉₀	83,6	22,4	27	25	7,5
Фон + N ₁₂₀	83,1	21,9	26	18	6,4
Повышенное содержание P ₂ O ₅					
K ₁₂₀ (фон)	56,9	-	-	-	-
Фон + N ₆₀	85,4	28,5	33	48	6,3
Фон + N ₉₀	89,1	32,2	36	36	8,2
Фон + N ₁₂₀	99,5	42,6	43	36	8,7

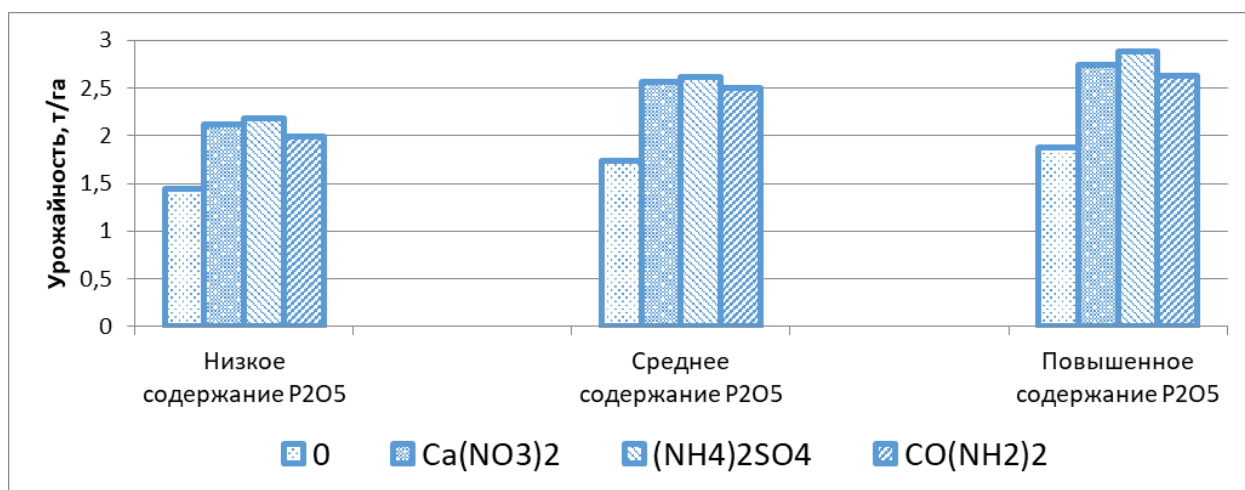


Рисунок 1.4.3 – Влияние разных форм азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы

Таким образом, содержание в почве доступных для растений фосфатов, наряду с уровнем азотного питания, оказывает существенное влияние на

формирование урожая яровой пшеницы и эффективность азотных удобрений. Теснота связи между дозами внесенных азотных удобрений и полученными прибавками урожая усиливалась с ростом обеспеченности почвы фосфором с $r=0,39$ до $r=0,78$. В свою очередь связь между содержанием в почве фосфатов и прибавкой урожая от азотных удобрений также возрастала с $r=0,35$ – на почве с низкой обеспеченностью до $r=0,69$ – при среднем и повышенном содержании P_2O_5 .

При дефиците фосфора применение азотных удобрений в дозе более 60 кг/га не приводило к увеличению окупаемости их прибавками урожая (6,3-6,7 кг/кг). На почве II группы обеспеченности P_2O_5 максимальная окупаемость была достигнута при применении 90 кг/га азота и составила 7,5 кг/кг. Максимальная урожайность до 3,7 т/га и окупаемость 8,7 кг/кг были получены только при повышенной обеспеченности почвы подвижным фосфором.

Оптимизация азотно-фосфорного питания положительно сказывается на формировании показателей качества зерна яровой пшеницы, способствует росту содержания сырого протеина и белка и усиливает накопление в зерне клейковинных белков – глиадинов и глютеинов.

1.5. НОВЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

Качество зерна злаковых культур определяется многими биохимическими показателями: содержанием в зерне белков и их составом, активностью амилолитических и протеолитических ферментов, количеством и свойствами клейковины (пшеница), концентрацией экстрактивных веществ (ячмень) и др., которые в значительной степени зависят от уровня азотного питания растений. Причем для усиления синтеза белков в созревающем зерне применяются поздние азотные подкормки в начале колошения, а также

формирования зерна (Аристархов, 2000; Макаров и др., 1998; Ряховский, 1995; Соколов, 2001; Abeledo и др., 2003; Braziene, 2008).

Прогнозирование величины и качества урожая злаковых культур и целесообразность проведения азотных подкормок обычно осуществляют методами тканевой и листовой диагностики азотного питания растений на ранних стадиях их развития. На пшенице высокую эффективность показал метод диагностики азотного питания растений по измерению концентрации нитратов в стеблевых срезах в фазе образования 2-го стеблевого узла, разработанный В.В. Церлинг. По результатам такой диагностики можно оценить обеспеченность растений азотом и возможность формирования высококачественного зерна с повышенным содержанием белков и клейковины. При дефиците азота проводится подкормка растений пшеницы в фазах начала колошения (корневая подкормка) или начала формирования зерна (некорневая подкормка) (Болдырев, 1980; Ермохин, 2010; Новиков, 2014; Церлинг, 1971; Церлинг, 1980).

Диагностика азотного питания растений пшеницы по В.В. Церлинг показала достаточно высокую эффективность, но вместе с тем она имеет и определенные недостатки, так как при ее применении оценивается поступление в растения только нитратов, а аммонийное питание не учитывается. Возможна также ошибка в определении концентрации нитратов, которая зависит не только от уровня азотного питания растений, но и температуры окружающей среды, режима освещенности и питания растений фосфором, калием и другими питательными элементами (Новиков, 2010).

Учитывая указанные недостатки диагностики азотного питания по В.В. Церлинг, нами разработан новый метод диагностики азотного питания пшеницы и ячменя по измерению концентрации аминокислот в соке листьев, при которой учитывается общее поступление в растения нитратной и аммонийной форм азота, а также включение их в обмен азотистых веществ. В ходе исследований было установлено, что в качестве индикаторного органа

следует брать второй лист от колоса с главного побега растений, находящихся в фазе образования первого стеблевого узла (Новиков, 2010; 2017).

Возможность использования концентрации аминокислот в соке листьев для диагностики азотного питания растений определяется тем, что при повышении уровня азотного питания в них усиливаются ростовые процессы и потребление аминокислот на синтез структурных и функционально активных белков, вследствие чего их концентрация в соке листьев понижается. Тогда как при низкой обеспеченности растений доступными формами азота замедляется их рост и потребление аминокислот на синтез белков, в результате чего концентрация аминокислот в соке листьев возрастает. Следовательно, по концентрации аминокислот в соке листьев можно оценивать уровень азотного питания растений. Более того на основе корреляции рассматриваемого показателя с продуктивностью растений и биохимическими показателями сформировавшихся в данных условиях зерновок оказывается возможным прогнозировать уровень урожайности и качество зерна злаковых культур. При этом следует отметить, что для оценки изменения концентрации аминокислот в соке листьев достаточно измерять концентрацию одной или нескольких аминокислот, так как в процесс синтеза белков все протеиногенные аминокислоты включаются практически одновременно (Новиков, 2017; Новиков, Соловьева, 2019).

Для проведения диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна злаковых культур по измерению концентрации аминокислот в соке листьев необходимо изучить параметры изменения этого показателя в природно-климатических условиях конкретных регионов и в зависимости от гидротермических условий в период вегетации растений.

В ходе наших исследований выяснялось влияние уровня азотного питания на концентрацию аминокислот в соке листьев, формирование урожая и качество зерна хлебопекарной пшеницы и пивоваренного ячменя в условиях Центрального района Нечерноземной зоны.

Методика исследований

Полевые опыты проводили на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева в 2010–2011 и 2016–2017 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Объекты исследования: яровая мягкая пшеница сорта Иволга селекции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева и пивоваренный ячмень сорта Владимир селекции Московского НИИСХ «Немчиновка» и Рязанского НИИСХ. Повторность опытов 4–5-кратная, площадь делянок – 1 м². В опытах с пшеницей почва имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 2,4 %, рН_{сол.}=6,2, Р₂О₅ – 200–220 мг/кг (по Кирсанову), К₂О – 160–180 мг/кг (по Масловой); в опытах с ячменем: содержание гумуса – 2,5 %, рН_{сол.}=5,8, Р₂О₅ – 160–190 мг/кг (по Кирсанову), К₂О – 200–213 мг/кг (по Кирсанову). Фосфорно-калийные удобрения вносили до посева в виде суперфосфата и хлорида калия с учетом содержания питательных веществ в почве в 2010–2011 гг. – Р₂₀К₂₀, в 2016 г. – Р₃₀К₃₀, в 2017 г. – Р₆₀К₆₀. Азот вносили также до посева в виде нитрата аммония в дозах от 0 до 150 кг/га.

Для анализов использовали зерно, прошедшее послеуборочное дозревание. Натуру зерна, массу 1000 зерен, содержание сырой клейковины и ее качество, показатель экстрактивности зерна определяли общепринятыми методами (Беркутова, 1991), содержание белков в зерне рассчитывали по белковому азоту. Белковые фракции выделяли из цельносмолотого зерна путем экстракции обессоленной водой, 10% раствором хлорида калия, 70% раствором этанола и 0,2% раствором гидроксида натрия с последующим определением азота по Кьельдалю. Активность амилаз определяли методом иод-крахмальной пробы, протеолитических ферментов – по Ансону (Плешков, 1985).

Для выделения сока отбирали вторые от колоса листья с главных побегов растений пшеницы и ячменя, находящихся в фазе образования первого стеблевого узла. Затем пробы сока приливали в 3 % раствор трихлоруксусной кислоты. После нейтрализации кислоты 6 % раствором гидроксида натрия в полученной смеси измеряли концентрацию аминокислот окрашиванием по Лоури (опыты с пшеницей) или на спектрофотометре при длине волны 280 нм (опыты с ячменем) (Новиков, 2010; 2017).

Статистическую оценку полученных результатов опытов проводили методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы «Straz» (модификация информационно-вычислительного центра РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, версия 2.1, 1989-1991). Коэффициенты корреляции рассчитывал с применением компьютерной программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

В полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой почве 2010 – 2011 гг., было показано, что при повышении уровня азотного питания в соке листьев пшеницы в фазе формирования первого стеблевого узла заметно понижалась концентрация аминокислот (табл. 1.5.1, 1.5.2), что было вызвано активизацией роста растений под действием азотного удобрения и возрастанием потребления аминокислот в процессе синтеза структурных и функционально активных белков и других азотистых соединений. При этом отмечалось увеличение сбора зерна, увеличение накопления в зерне белков и клейковины, но одновременно происходило уменьшение в зерновках активности кислых (рН=5,80) и щелочных протеаз (рН=8,0).

Под влиянием возрастающих доз азота наблюдались также существенные изменения в составе белков зерна: уменьшение доли водорастворимых и увеличение количества клейковинных белков (глиадинов и глютеинов). Указанные изменения концентрации аминокислот, продуктивности растений и биохимических показателей качества зерна отмечались как в более засушливом 2010 (ГТК=0,6), так и в 2011 (ГТК=1)

году, хотя под влиянием засушливых гидротермических условий в 2010 г. даже на фоне усиления азотного питания растений вследствие ослабления ростовых процессов содержание аминокислот в соке листьев было выше, а масса 1000 зерен и урожай зерна ниже, чем в 2011 г.

Таблица 1.5.1

Концентрация аминокислот в соке листьев, урожайность и показатели качества зерна пшеницы в опыте 2010 г.

Анализируемые показатели	Дозы азота, кг/га					НСР ₀₅
	0	60	90	120	150	
Концентрация аминокислот в соке листьев в пересчете на тирозин, мг/мл	36,5	32,5	29,5	28,0	26,5	-
Сбор зерна, г/м ²	135	158	176	211	237	14
Масса 1000 зерен, г	26,9	27,3	28,6	28,5	30,8	2,2
Содержание сырой клейковины, %	25,8	26,0	27,7	28,6	30,1	2,0
Содержание в зерне белков, % сухой массы	10,6	11,8	13,1	14,2	14,8	0,5
В % от общего количества белков:						
Водорастворимые белки	13,2	12,1	12,4	10,6	10,3	0,3
Спирторастворимые белки (глиадины)	28,9	29,9	30,4	31,1	31,4	0,5
Щелочерастворимые белки (глютенины)	31,1	33,7	34,5	36,1	37,7	0,4
Неэкстрагируемые белки	13,1	11,6	10,1	9,4	9,1	0,4
Активность кислых протеаз (рН=5,8), мкг тирозина за 1 мин. в расчете на 1 г сухой массы	148	137	139	118	111	5
Активность щелочных протеаз (рН=8), мкг тирозина за 1 мин. в расчете на 1 г сухой массы	78	67	61	50	45	4

Гидротермические условия года также заметно влияли на активность протеолитических ферментов. В более вододефицитных условиях 2010 года активность кислых протеаз (рН=5,8) в зерне пшеницы была ниже, а щелочных (рН=8,0) выше по сравнению с 2011 г. Тем не менее общее направление изменений указанных показателей в разных гидротермических условиях оставалось неизменным.

По результатам двухлетних полевых опытов выявлена тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и уровнем азотного питания ($r = -0,95-0,98$, табл. 1.5.3), а также

концентрации аминокислот в соке листьев с зерновой продуктивностью растений, массой 1000 зерен, общим содержанием в зерне белков и сырой клейковины ($r = -0,87-0,98$), количеством глиадиновых и глютеиновых белков ($r = -0,90-0,98$). Вместе с тем наблюдалась тесная положительная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и содержанием в зерне водорастворимых и неэкстрагируемых белков ($r = 0,90-0,98$), а также активностью кислых и щелочных протеаз ($r = 0,88-0,96$).

Таблица 1.5.2

Концентрация аминокислот в соке листьев, урожайность и показатели качества зерна пшеницы в опыте 2011 г.

Анализируемые показатели	Дозы азота, кг/га					НСР ₀₅
	0	60	90	120	150	
Концентрация аминокислот в соке листьев в пересчете на тирозин, мг/мл	32,0	30,0	26,5	25,0	25,0	-
Сбор зерна, г/м ²	202	211	255	282	297	15
Масса 1000 зерен, г	28,4	30,4	33,6	36,0	38,3	2,1
Содержание сырой клейковины, %	24,5	25,4	25,9	27,2	27,9	2,0
Содержание в зерне белков, % сухой массы	11,8	12,8	13,3	13,6	14,8	0,5
В % от общего количества белков:						
Водорастворимые белки	13,9	12,4	12,3	11,5	10,7	0,7
Спирторастворимые белки (глиадины)	29,6	30,5	30,6	31,1	31,2	0,5
Щелочерастворимые белки (глютеины)	30,3	31,8	33,0	34,6	36,6	0,5
Неэкстрагируемые белки	13,3	11,9	11,8	10,4	9,7	0,9
Активность кислых протеаз (рН=5,8), мкг тирозина за 1 мин. в расчете на 1 г сухой массы	171	166	149	127	125	5
Активность щелочных протеаз (рН=8), мкг тирозина за 1 мин. в расчете на 1 г сухой массы	64	56	55	42	34	3

Таким образом, на основе полученных экспериментальных данных показано, что по концентрации аминокислот в соке листьев растений, находящихся в фазе образования первого стеблевого узла, представляется возможным с достаточно высокой точностью проводить диагностику азотного питания пшеницы и прогнозировать уровень ее урожайности, а также общие показатели качества зерна (масса 1000 зерен, содержание в

зерне белков и сырой клейковины) и многие биохимические показатели (содержание в зерне водорастворимых, глиадиновых, глютеиновых, неэкстрагируемых белков, активность протеолитических ферментов). По результатам такой диагностики можно обосновывать проведение поздних азотных подкормок пшеницы с целью получения высококачественного зерна. При сухой погоде позднюю азотную подкормку мягкой пшеницы рекомендуется проводить при концентрациях аминокислот в соке листьев более 29 мг/мл, а при относительно благоприятном водном режиме – более 25 мг/мл.

Таблица 1.5.3

Коэффициенты корреляции между концентрацией аминокислот в соке листьев и уровнем азотного питания, продуктивностью растений и качеством зерна пшеницы

Коррелирующие показатели	Опыт 2010 г.	Опыт 2011 г.
Дозы вносимого азота	-0,98	-0,95
Сбор зерна	-0,96	-0,98
Масса 1000 зерен	-0,87	-0,95
Содержание сырой клейковины	-0,93	-0,94
Содержание в зерне белков	-0,97	-0,91
Содержание водорастворимых белков	0,91	0,90
Содержание спирторастворимых белков (глиадинов)	-0,98	-0,90
Содержание щелочерастворимых белков (глютеинов)	-0,98	-0,92
Содержание неэкстрагируемых белков	0,98	0,91
Активность кислых протеаз (рН=5,8)	0,93	0,95
Активность щелочных протеаз (рН=8,0)	0,96	0,88
Корреляция достоверна при	$r \geq 0,87$	

В проведенных опытах значительный интерес представляют данные о снижении активности протеаз под влиянием возрастающих доз азотного удобрения, вызывающих усиление синтеза клейковинных белков (глиадинов и глютеинов). Как известно, эти белки способны связывать ферментные

белки протеаз в неактивные комплексы. С другой стороны, увеличение содержания в зерне клейковинных белков сопровождалось уменьшением фракции водорастворимых белков, в которой содержались ферментные белки, следовательно, концентрация ферментных белков также уменьшалась. Таким образом, отмечаются две причины снижения активности в зерне пшеницы протеолитических ферментов под воздействием возрастающих доз азотного питания – уменьшение концентрации ферментных белков и связывание их в неактивные комплексы клейковинными белками, количество которых в зерне возрастает при усилении азотного питания растений.

Опыты с пивоваренным ячменем проводились в 2016 (ГТК=1,3) и 2017 (ГТК=2,3) гг., которые характеризовались контрастными гидротермическими условиями. Тем не менее в них, как и в опытах с хлебопекарной пшеницей, при повышении уровня азотного питания снижалась концентрация аминокислот в соке листьев вследствие усиления ростовых процессов и возрастания их потребления на синтез белков и других азотистых веществ (табл. 1.5.4,5). Между дозами азота и концентрацией аминокислот в соке листьев в фазе формирования первого стеблевого узла установлена тесная отрицательная корреляция ($r = -0,96-0,98$, табл. 1.5.6), которая свидетельствует о том, что по концентрации аминокислот в соке листьев можно проводить диагностику азотного питания растений ячменя.

При повышении уровня азотного питания существенно возрастали сбор зерна и накопление в зерне белков, особенно гордеинов, а также общая активность амилаз, но снижались натура, экстрактивность зерна и содержание в зерне водорастворимых белков. Установлена тесная положительная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и натурой ($r = 0,93-0,98$), экстрактивностью ($r = 0,92-0,98$) зерна, содержанием в зерне водорастворимых белков ($r = 0,97-0,98$), а также тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с продуктивностью растений ($r = -0,93-0,96$), общим содержанием в зерне

белков ($r = -0,92-0,96$) и количеством гордеинов ($r = -0,95-0,97$), а также активностью амилаз ($r = -0,92-0,98$).

Таблица 1.5.4

Концентрация аминокислот в соке листьев, урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя в опыте 2016 г.

Анализируемые показатели	Дозы азота, кг/га				НСР ₀₅
	0	60	90	120	
Концентрация аминокислот в соке листьев в пересчете на тирозин, мг/мл	25,0	17,5	14,5	11,5	-
Сбор зерна, г/м ²	419	443	462	495	21
Показатель натурности зерна, г/л	651	642	635	629	5
Содержание в зерне белков, % сухой массы	9,2	12,3	12,6	13,1	0,5
Показатель экстрактивности зерна, % сухой массы	78,8	76,9	76,6	75,7	2,9
В % от общего количества белков:					
Водорастворимые белки	12,7	9,8	8,6	8,1	0,7
Спирторастворимые белки (гордеины)	29,3	34,0	36,6	40,5	1,9
Активность амилаз, мг гидролизованного крахмала за 1 мин. в расчете на 1 г сухой массы	65,3	80,6	87,2	95,2	4,3

Как известно, у пшеницы цель проведения диагностики азотного питания – обоснование применения поздних азотных подкормок для получения высококачественного зерна с улучшенными хлебопекарными свойствами. Однако к зерну пивоваренного ячменя предъявляются другие требования, которые должны отвечать нормативам пивоваренного производства. Одним из таких нормативов является ограничение по содержанию в зерне белков – не более 12 %. Кроме того, установлены нормативы по показателям натурности, экстрактивности зерна и др.

В наших опытах под влиянием повышенных доз азота (90–150 кг/га) содержание в зерне белков в условиях умеренного гидротермического режима (ГТК=1,3) возрастало до 13 % и существенно снижались показатели натурности и экстрактивности зерна. Определение концентрации аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла показало, что нормативное ограничение по содержанию в зерне белков в наших опытах не

превышалось при их концентрации (в пересчете на тирозин) не ниже 21 мг/мл. Если же по указанной методике диагностируется высокое содержание аминокислот в соке листьев, свидетельствующее о высокой обеспеченности растений азотом, при которой сформируются зерновки с повышенным содержанием белков, то такой прогноз будет служить обоснованием для использования формирующегося урожая зерна ячменя не в производстве пива, а для переработки в крупу или корма.

Таблица 1.5.5

Концентрация аминокислот в соке листьев, урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя в опыте 2017 г.

Анализируемые показатели	Дозы азота, кг/га					НСР ₀₅
	0	60	90	120	150	
Концентрация аминокислот в соке листьев в пересчете на тирозин, мг/мл	30,0	27,5	22,0	21,0	21,0	-
Сбор зерна, г/м ²	418	464	504	558	602	23
Показатель натурности зерна, г/л	731	729	724	723	718	5
Содержание в зерне белков, % сухой массы	8,8	9,0	10,0	11,6	11,1	0,5
Показатель экстрактивности зерна, % сухой массы	81,2	80,5	80,2	79,5	79,1	2,9
В % от общего количества белков:						
Водорастворимые белки	11,7	10,8	9,5	8,2	8,3	0,7
Спирторастворимые белки (гордеины)	32,7	35,1	36,6	38,1	38,8	1,7
Активность амилаз, мг гидролизованного крахмала за 1 мин. в расчете на 1 г сухой массы	53,7	57,6	66,4	82,5	83,5	1,1

Таким образом, в полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве установлено, что при повышении уровня азотного питания растений мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя в соке листьев в фазе формирования первого стеблевого узла понижается концентрация аминокислот, которые в таких условиях вследствие активизации ростовых процессов более интенсивно потребляются на синтез белков и других азотистых веществ. Между дозами азота и концентрацией аминокислот в соке листьев установлена тесная отрицательная корреляция ($r = -0,95-0,98$).

Таблица 1.5.6

Коэффициенты корреляции между концентрацией аминокислот в соке листьев и уровнем азотного питания, продуктивностью растений и качеством зерна пивоваренного ячменя

Коррелирующие показатели	Опыт 2016 г.	Опыт 2017 г.
Дозы вносимого азота	–0,98	–0,96
Сбор зерна	–0,96	–0,93
Натура зерна	0,98	0,93
Содержание в зерне белков	–0,96	–0,92
Содержание водорастворимых белков	0,98	0,97
Содержание спирторастворимых белков (гордеинов)	–0,97	–0,95
Показатель экстрактивности зерна	0,98	0,92
Активность амилаз	–0,98	–0,92
Корреляция достоверна при	$r \geq 0,95$	$r \geq 0,88$

Эти данные свидетельствуют о том, что по измерению концентрации аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла можно с достаточно высокой точностью оценивать уровень азотного питания растений пшеницы и ячменя. Кроме того, в проведенных полевых опытах выявлена тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с зерновой продуктивностью растений пшеницы и ячменя ($r = -0,93-0,98$), общим содержанием в зерне белков ($r = -0,91-0,97$), количеством спирторастворимых белков (глиадинов и гордеинов, $r = -0,92-0,98$) и тесная положительная корреляция с содержанием в зерне водорастворимых белков ($r = 0,90-0,98$). У пшеницы установлена тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и массой 1000 зерен ($r = -0,87-0,95$), содержанием в зерне сырой клейковины ($r = -0,93-0,94$), глютениновых белков ($r = -0,92-0,98$) и тесная положительная корреляция с содержанием в зерне неэкстрагируемых белков ($r = 0,91-0,98$), а также активностью кислых (рН=5,8) и щелочных (рН=8,0) протеаз ($r = 0,88-0,96$). У ячменя выявлена тесная отрицательная корреляция концентрации

аминокислот в соке листьев с общей активностью в зерне амилаз ($r = -0,92-0,98$) и тесная положительная корреляция с показателями натуры ($r = 0,93-0,98$) и экстрактивности зерна ($r = 0,92-0,98$). В целом можно отметить, что полученные результаты исследований обосновывают возможность по измерению концентрации аминокислот в соке листьев в фазе формирования первого стеблевого узла достаточно точно проводить диагностику азотного питания и прогнозирование качества зерна мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя.

Выводы

1. В полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, выяснено, что под влиянием возрастающих доз вносимого азота в соке листьев мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя, находящихся в фазе образования первого стеблевого узла, происходит понижение концентрации аминокислот, которые в таких условиях в большем количестве потребляются на синтез белков и других азотистых веществ. При этом между дозой вносимого азота и концентрацией аминокислот в соке листьев установлена тесная отрицательная корреляция.

2. У этих культур выявлена также тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и зерновой продуктивностью растений, общим содержанием в зерне белков и количеством глиадинов и гордеинов, вместе с тем установлена тесная положительная корреляция этого показателя с содержанием в зерновках водорастворимых белков.

3. Кроме того, у пшеницы в фазе формирования первого стеблевого узла отмечена тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с массой 1000 зерен, содержанием в зерне сырой клейковины и глютелиновых белков и тесная положительная корреляция с содержанием в

зерне неэкстрагируемых белков, а также активностью кислых и щелочных протеаз.

4. У пивоваренного ячменя в фазе формирования первого стеблевого узла выявлена тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с общей активностью в зерне амилаз и тесная положительная корреляция с показателями натуры и экстрактивности зерна.

5. Результаты проведенных исследований показывают, что по концентрации аминокислот в соке листьев в фазе формирования первого стеблевого узла можно с высокой точностью оценивать обеспеченность растений мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя доступными для питания формами азота и на основе такой диагностики осуществлять прогнозирование их зерновой продуктивности и показателей качества зерна.

1.6. ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕАГРЕГИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ МАССЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ САМОПОГЛОЩЕНИЯ β -ИЗЛУЧЕНИЯ ¹³⁷CS. «ВРЕМЯ ЖИЗНИ» ПОЧВЕННОГО АГРЕГАТА

Одним из новых методических подходов к решению данной задачи исследования переагрегирования почвенной массы может стать использование β -излучающих радиоактивных изотопов, поступающих или специально вносимых в почву в эксперименте, в форме прочносорбирующихся соединений. Энергия β -излучения не должна быть слишком высокой (менее 0,6 МэВ), чтобы пробег основной массы β -частиц не превышал 1 мм.

Суть метода состоит в следующем. Скорость счета образца агрегированной почвы, регистрируемая по «мягкому» β -излучению, будет существенно зависеть от характера распределения радионуклида в почве на агрегатном уровне. При его локализации на поверхности агрегатов скорость

счета будет существенно превышать скорость счета образцов, содержащих такое же количество радионуклида, но равномерно распределенного по всему объему почвы. Данный эффект обусловлен незначительной величиной пробега «мягкого» β -излучения в почве (менее 1 мм в зависимости от энергии излучения). Следовательно, та часть радионуклида, которая перешла с поверхности агрегатов во внутриведную массу, например, в процессе переагрегирования почвы или разрушения агрегатов и оказалась в образце глубже 1 мм от его поверхности, не будет регистрироваться детектором β -излучения. Данный эффект ослабления излучения внутри материала образца при измерении его радиоактивности получил название «самопоглощения» или «самоослабления» излучения образцом (Аронов, 1959; Лукьянов, 1963).

Оценка уровня разрушения или переагрегирования почвенной массы может быть выполнена по калибровочному графику, характеризующему снижение скорости счета образца в зависимости от уровня разрушения или переагрегирования почвенной массы.

Нами выполнена оценка возможности использования радиоизотопа ^{137}Cs в изучении деструкции почвенных агрегатов. Данный радионуклид оказался удобным для решения поставленной задачи по ряду причин.

Во-первых, ^{137}Cs поступает в почву как загрязнитель или искусственно вносится в модельных опытах в микроколичествах и преимущественно в формах, образующих в почвенном растворе ион $^{137}\text{Cs}^+$, который очень прочно, практически необратимо сорбируется почвой (Анисимов и др., 1991). Ведущая роль в сорбции радиоцезия принадлежит глинистым минералам смектитовой группы, составляющим обычный компонент почвенных агрегатов.

Во-вторых, большой период полураспада ^{137}Cs (30,08 лет) позволяет вести длительные наблюдения за его перераспределением на агрегатном уровне, что может иметь решающее значение в условиях высокой стабильности почвенных агрегатов. Даже спустя более десяти лет после Чернобыльской катастрофы (образцы, отобранные в 2000 г.) имело место не

вполне равномерное распределение ^{137}Cs на агрегатном уровне в условиях чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого под лесополосой (Тульская обл.) и дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы под пастбищем (Калужская обл.) (Сюняев, Сюняева, 2004).

Наконец, третье обстоятельство, делающее удобным использование ^{137}Cs – это особенности его радиоактивного распада и характеристики образующегося излучения. На 100 актов распада ^{137}Cs приходится 8 превращений, сопровождающихся β -излучением с максимальной энергией 1,18 МэВ; 92 превращения происходит также по типу β -распада, но с энергией 0,51 МэВ («мягкая» компонента); каждый акт данного распада сопровождается еще и образованием γ -фотона с энергией 0,66 МэВ.

Оценка уровня переагрегирования почвенной массы связана с наличием «мягкой» компоненты β -излучения. Почвенная масса для высокопроникающего γ -излучения будет практически «абсолютно прозрачна», и скорость счета, обусловленная γ -излучением, практически не будет зависеть от состояния локализации ^{137}Cs в образце. Наличие 8% «жесткого» компонента β -излучения не будет влиять на результат, определяемый по калибровочным графикам.

Для исследования переагрегирования почвенной массы по эффекту самопоглощения необходимо решение нескольких задач, важнейшие из которых – выбор детектора излучений, условий и способа измерения радиоактивности, получение калибровочных кривых, характеризующих снижение скорости счета образца при различном уровне переагрегирования почвенной массы в диапазоне от исходной (начальной) локализации ^{137}Cs на поверхности агрегатов до равномерного распределения радионуклида в образце.

В качестве объекта была выбрана почва с хорошо выраженной агрегированностью – темно-серая лесная тяжелосуглинистая на покровном суглинке, взятая в Юрьев-Польском районе Владимирской области под

лесополосой. Образец нативной почвы с естественной влажностью был размят руками (до комков не крупнее 10 мм). Затем весь образец массой более 40 кг после подсушивания до воздушно-сухого состояния был рассеян на ситах. Получено следующее соотношение по размерам агрегатов: <1 мм – 22,7%, 1-2 мм – 23,2%, 2-3 мм – 11,3%, 3-5 мм – 16,3%, 5-7 мм – 11,4%, 7-10 мм – 15,1%. (В дальнейших исследованиях по переагрегированию готовились смешанные образцы из агрегатов разного размера, взятых в соответствии с полученным соотношением.

Получение агрегатов с поверхностным распределением ^{137}Cs . Образец с агрегатами каждого размера в отдельности равномерно распределялся по дну плоской прямоугольной кюветы размером 50 x 60 см и глубиной 4 см. Слой почвы не превышал 1 см. Нанесение ^{137}Cs на поверхность агрегатов осуществлялось с помощью пульверизатора напылением водного раствора хлорида цезия из расчета 0,5 ммоль и 7 кБк на 1 кг образца. Такое количество Cs по массе не должно оказывать какого-либо влияния на основные химические и физико-химические свойства почв, а уровень активности был выбран в соответствии с удобством радиометрических измерений по описанной ниже методике.

Напыление раствора выполнялось в несколько приемов. Прерывание делалось всякий раз, когда поверхность равномерно увлажнялась, что определялось визуально по изменению цвета почвы, а агрегаты впитывали всю нанесенную влагу. После подсушивания вся масса почвы аккуратно перемешивалась, выравнивалась по дну кюветы и подвергалась повторному напылению. При этом во впитывании влаги участвовала только поверхность агрегата, поскольку общий объем раствора при каждом акте напыления был на порядок меньше влагоемкости почвы (4-8 мл/кг почвы). Для каждого образца проводилось от 4 до 10 напылений, после которых образец окончательно перемешивался до равномерного распределения активности в пробах массой по 30 г. Подготовка заканчивалась отсевом от основного

образца пыли и более мелких фракций агрегатов. Поверхностно меченые агрегаты хранились в герметично закрытых емкостях.

Выбор счетчика регистрации излучений и условий измерения. В качестве детектора излучений ^{137}Cs был выбран счетчик Гейгера-Мюллера типа СБТ-10, имеющий размер слюдяного окна 80 x 60 мм. Данный тип счетчика хорошо подходит для регистрации β -излучения по эффективности регистрации, которая приблизительно на 1 порядок выше, чем эффективность регистрации γ -фотонов, то есть скорость счета излучений ^{137}Cs на счетчике такого типа будет обусловлена преимущественно β -излучением ^{137}Cs .

Кроме того, о чем уже упоминалось, ввиду чрезвычайно высокой проникающей способности γ -излучения (в тысячи раз выше, чем β -излучения) эффект самопоглощения этого вида излучений образцом почвы будет отсутствовать. Следовательно характер локализации ^{137}Cs на агрегатном уровне практически не будет влиять на вклад в общую скорость счета γ -излучения ^{137}Cs . Все изменения в скорости счета образца при изменении характера локализации радионуклида на агрегатном уровне будут обусловлены, только β -излучением ^{137}Cs , преимущественно, его «мягкого» компонента с максимальной энергией 0,51 МэВ.

Радиометрические измерения проводились в стандартных условиях. Образец почвы массой 30 г помещали в подложку типа прямоугольной кюветы, размеры которой 80 x 60 мм соответствовали размерам окна счетчика. Высота кюветы – 20 мм, слой почвы – около 10 мм, расстояние от поверхности почвы до окна счетчика – около 25 мм.

Было показано, что при такой геометрии измерений характер поверхности образца (выровненная для размолотых и «бугорчатая» для агрегированных) при гомогенном распределении ^{137}Cs в почвенной массе практически не влиял на скорость счета. Данное обстоятельство имеет важное значение, поскольку при изучении переагрегирования почвенной

массы под влиянием различных факторов может изменяться и соотношение между агрегатами разного размера и характера поверхности измеряемого образца почвы.

Получение калибровочных кривых для оценки степени переагрегирования почвенной массы. Первоначально была выполнена оценка изменения скорости счета в зависимости от доли разрушенных агрегатов в пробах почвы, первоначально содержащих только агрегаты одного размера в диапазоне 1-10 мм. Для этой цели готовилась серия образцов с воздушно-сухими агрегатами заданного размера, известная часть которых (0, 16, 33, 50, 66, 83 и 100% по массе) механически разрушалась и измерялась скорость счета образца, содержащего смесь разрушенных и исходных почвенных агрегатов. Было обнаружено, что устойчивые и достоверно определяемые изменения в скоростях счета наблюдались для агрегатов размером более 3 мм (фракции 3-5, 5-7 и 7-10 мм). Именно с этими фракциями проводились дальнейшие исследования. Для фракций размером менее 3 мм использование ^{137}Cs оказалось неэффективным. Вероятно, это связано со снижением эффекта неравномерности распределения ^{137}Cs в почвенной массе, что отражается на угле наклона калибровочных кривых для агрегатов разного размера (рис. 1.6.1). Возможно, что применение какого-либо другого радионуклида с более «мягким» излучением позволит исследовать устойчивость фракций агрегатов размером менее 3 мм.

Поскольку дальнейшие исследования проводились с почвенной массой, имеющей неоднородный агрегатный состав, то и калибровочные кривые были получены для аналогичных условий. Для этой цели в каждую кювету помещался образец с немечеными агрегатами всех размеров, кроме исследуемой фракции. Исследуемая фракция с поверхностно мечеными агрегатами смешивалась в кювете с остальной почвой. Для каждой фракции готовилась серия образцов с различным количеством механически разрушенных агрегатов.

При радиометрических измерениях такого образца существенное влияние на точность результата оказывает равномерность распределения меченой агрегированной и неагрегированной массы в образце. Повторные измерения после перемешивания образца в кювете показали значительный разброс результатов. В связи с этим, для получения точности средних значений не ниже 9%, в нашем случае приходилось делать до 8 повторных измерений при аккуратном перемешивании образца после каждого измерения.

Для всех трех фракций получена близкая к линейной зависимость между величинами скоростей счета образцов и количеством механически разрушенных агрегатов. Для простоты пользования скорость счета на графиках дана в относительных величинах K_1 . За единицу принята скорость счета образцов с исходными неразрушенными агрегатами (N_0).

Следует еще раз отметить, что с уменьшением средних размеров агрегатов угол наклона линий графиков уменьшается, то есть эффект самопоглощения β -излучения с уменьшением размеров агрегата снижается. Следовательно, используемый метод будет давать более надежные результаты с агрегатами относительно крупного размера, в нашем случае – 7-10 мм. Однако при выбранных условиях радиометрических измерений, результаты, полученные с агрегатами крупного размера, имели и максимальный разброс данных между отдельными измерениями при перемешивании образцов в кювете. Очевидно, это связано с более высоким уровнем неравномерности распределения ^{137}Cs в образце с крупными агрегатами. На графиках показаны значения разброса средних значений только для отдельных точек в области их минимальной скученности.

Устойчивость агрегатов в полевых условиях. Рассмотрим результаты, полученные с агрегатами размером 7-10 мм. Исследования в полевых условиях проводились с использованием контейнеров с сетчатыми стенками, которые закладывались в почву на заданную глубину. Контейнеры в виде пластмассового цилиндра имели высоту 5 см и внутренний диаметр 3 см. В

боковых стенках высверливалось около 100 отверстий диаметром 0,5 см. Торцы контейнера закрывались крышками, в которых высверливали по 15 отверстий диаметром 1мм. Размеры отверстий и их общее количество обеспечивало влагообмен между исследуемым почвенным образцом и наружной почвенной массой, а также свободное проникновение корней и мезофауны в объем контейнера. Контейнер заполняли смесью агрегатов разного размера в соотношении, полученном путем рассеяния исходной почвы. Общая масса воздушно-сухой почвы в контейнере составляла 35 г, что достаточно для получения стандартного образца при радиометрических измерениях (30 г). В смеси агрегатов, помещенных в контейнер, 5,25 г (15%) от общей массы представляли поверхностно меченые агрегаты размером 7-10 мм.

Использование данной методики основано на предположении, что процессы переагрегирования внутри контейнера будут соответствовать процессам в окружающей контейнер почвенной массе.

Перед закладкой контейнеров в почву (в середине мая) определялась её полевая влажность. В контейнерах влажность образца доводилась до полевой путём смачивания образца с помощью микропипетки через боковые отверстия контейнера. Увлажнение позволяло не только выровнять влажность образца и наружной почвы, но и препятствовало потерям мелких агрегатов через боковые отверстия контейнеров при закладке их в почву.

Контейнеры устанавливались в нише, выбранной на вертикальной стенке микроразреза на глубину 10 и 30 см (по центру контейнера). Помимо разной глубины в опыте были предусмотрены два разных варианта с растительностью: 1) площадка с минимальным нарушением растительного покрова (разнотравье под пологом леса) и 2) площадка, имитирующая пар, размером 75x75 см, с которой растительность удалялась плоскорезом не реже 1 раза в месяц. Все варианты выполнялись в трехкратной повторности.

В лаборатории почва освобождалась из контейнера, крупные комья разминались руками на комочки размером не более 10 мм, образец доводился

до воздушно-сухого состояния, и определялась его масса, которая, как правило, незначительно отличалась от массы заложенного образца (35 г).

Поскольку для радиометрических измерений требовался образец массой 30 г, из экспонированного образца пинцетом отбирались «лишние» немеченные агрегаты (качественная радиометрическая оценка на наличие ^{137}Cs).

Для каждого образца мы получали три значения скоростей счёта: N_0 – скорость счёта исходного образца до закладки его в контейнер; N_t – скорость счёта образца, экспонированного в почве в течение заданного времени (в нашем случае – 1 год); N_∞ – скорость счёта растёртого и перемешанного образца, что соответствует полному разрушению агрегатов (таблица 1.6.1). Эти данные позволяют оценить относительное разрушение агрегатов в исходных образцах по двум интервалам изменения скорости счёта: $N_0 - N_t$ и $N_t - N_\infty$. В первом интервале $N_0 - N_t$ относительную деструкцию определяли непосредственно по координатам, представленным на калибровочном графике ($N_t / N_0 = K_1$, рис. 1.6.2). Для оценки относительной деструкции в интервале $N_t - N_\infty$ калибровочный график следует дополнительно пронормировать по ординате по отношению $N_t / N_0 = K_2$, которая соответствует кратности снижения скорости счёта экспонированного образца (N_t) после его растирания (N_∞). Дополнительно пронумерованный график, на котором отложены все полученные экспериментальные точки, показан на рисунке 1.6.2.

В таблице 1.6.1 приведены полученные уровни относительной деструкции для интервалов $N_0 - N_t$ (K_1) и $N_t - N_\infty$ (K_2) по всем вариантам опыта с указанием максимальных размеров разброса полученных значений.

Поясним расчёт оценки максимальных значений разброса расчетных величин K_1 и K_2 и полученных по этим значениям величин разброса размеров относительной деструкции.

Разброс средних значений (σ) оценивали по экспериментальным значениям скоростей счёта N_0 , N_t и N_∞ , по повторным радиометрическим измерениям в отдельных повторностях и разброса средних значений между повторностями.

Максимальный разброс коэффициентов K_1 и K_2 оценивался как разность между их максимально- и минимально возможными значениями:

$$(K_{1\max} - K_{1\min} = \frac{N_t + \sigma_{Nt}}{N_0 - \sigma_{No}} - \frac{N_t - \sigma_{Nt}}{N_0 + \sigma_{No}}; K_{2\max} - K_{2\min} = \frac{N_t + \sigma_{Nt}}{N_{oo} - \sigma_{Noo}} - \frac{N_t - \sigma_{Nt}}{N_{oo} + \sigma_{Noo}})$$

Полученные средние величины K_1 и K_2 и соответствующие значения разброса откладывались на графике по соответствующим ординатам, после чего на тех же графиках оценивался разброс значений деструкции по абсциссе. Пример такой оценки приведён на рис. 1.6.2 для одной из полученных экспериментальных точек, обозначенной 3-1 (паровая площадка, глубина 10 см, оценка по K_1).

Значение K_1 равно $0,67 \pm 10$. Этому значению по ординате соответствует значение деструкции, равное $50 \pm 15\%$.

В целом точность полученных значений деструкции в данном опыте невысока. Она не превышает 14-16% в вариантах 1-1 и 1-2 при среднем значении – 35%.

Каковы источники такого значительного разброса полученных данных и можно ли добиться более высокой точности результатов, используя данный подход?

Точность конечного расчетного результата целиком зависит от точности определения средних значений скоростей счёта N_0 , N_t и N_∞ . В свою очередь точность среднего значения скорости счёта определяется: а) точностью каждого отдельного радиометрического измерения; б) разбросом значений при повторных определениях скоростей счёта в одном образце; в) разбросом средних значений скоростей счёта в разных повторностях.

Оценка уровня деструкции агрегатов размером 7-10 мм за 1 год экспонирования в натуральных условиях

Условия экспонирования	Скорости счёта препаратов, имп./с			$K_1 = N_t/N_0$	$K_2 = N_t/N_\infty$	Относительная деструкция, %	
	до закладки $N_0 \pm \sigma$	через год экспонирования N_t	с разрушенными агрегатами N_∞			по K_1	по K_2
Естественная растительность, глубина 10 см	12,1±0,8	7,3±0,5	4,3±0,2	0,60±0,07	1,7±0,20	61±10	64±13
Естественная растительность, глубина 30 см	13,0±0,9	10,4±0,8	4,4±0,2	0,80±0,11	2,35±0,20	30±10	24±13
Паровая площадка, глубина 10 см	12,7±0,9	8,5±0,7	4,7±0,3	0,67±0,10	1,81±0,28	50±15	59±11
Паровая площадка, глубина 30 см	12,8±0,9	10,8±0,9	4,8±0,3	0,84±0,10	2,27±0,29	23±15	32±16

В то же время точность каждого отдельного радиометрического измерения определяется исключительно временем измерения (т.е. числом набранных импульсов). В этом случае величина абсолютной ошибки рассчитывается из простого соотношения: $D = \pm \sqrt{N/t}$, где N – скорость счёта образца в имп/с, t – время, за которое эта скорость определена. Определение скоростей счёта проводилось за 100 с. Нетрудно подсчитать, что при скоростях счёта порядка 10 имп/с абсолютная ошибка будет составлять около 0,3 имп/с, а точность отдельного радиометрического измерения – около 3%. В нашем случае разброс средних значений скоростей счёта был существенно выше, при этом оказалось, что разброс по повторностям не выходит за рамки разброса повторных измерений одного образца при его перемешивании между измерениями. Это обстоятельство даёт основание предполагать, что основной вклад в разброс средних значений скоростей счёта в условиях нашего эксперимента связан, в основном, с неравномерным распределением

15% меченых агрегатов в основной массе почвы при измерениях скорости счёта образца.

Увеличение числа повторных измерений образца, конечно, может снизить величину ошибки среднего значения. Однако при проведении измерений было замечено, что при увеличении числа измерений и перемешиваний до 10 и выше для данного типа почв начинало сказываться распыление поверхности агрегатов при перемешивании воздушно-сухих образцов, что начинает проявляться в монотонном снижении скорости счёта перемешиваемого образца.

Этих проблем не существует при оценке скорости счёта растёртых образцов (N_∞). Здесь, в принципе, может быть получена любая точность результата. Таким образом, при оценке деструкции в интервале $N_t - N_\infty$ (по K_2) точность может быть увеличена. Она будет целиком определяться точностью определения скорости счёта N_t , которая в нашем случае составляла 6-8%. Учитывая, что средние значения процента деструкции агрегатов, оценённые по K_1 и K_2 в пределах ошибок определения не различались, возможно, целесообразно в дальнейшем ограничиться оценкой деструкции только по величине K_2 , увеличив точность её определения за счёт более точной оценки величины N_∞ , увеличив число повторных измерений.

Дополнительный путь решения проблемы увеличения точности очевидно лежит в области поиска оптимизации геометрии радиометрических измерений, в частности увеличения массы и измеряемой поверхности образца, а также подбору другого радионуклида с более «мягким» β -излучением.

Тем не менее, несмотря на невысокую точность сделанных оценок, результаты позволяют выявить некоторые закономерности.

Во-первых, следует отметить достоверные различия в скорости деструкции агрегатов на глубине 10 и 30 см. В первом приближении скорость деструкции с глубиной снижается приблизительно в 2 раза, как в условиях естественной растительности, так и «парующей» площадки. Однако

достоверных различий в деструкции под естественной растительностью и в условиях пара за 1 год экспонирования не выявлено.

Полученные величины деструкции агрегатов позволяют в первом приближении оценить для них среднестатистическое «время жизни». Если принять, что переагрегирование подчиняется экспоненциальному закону, т.е. за одинаковые отрезки времени (применительно к природным объектам это может быть, например, 1 год) обновляется по составу почвенной массы определённая доля агрегатов данного размера λ , тогда среднее «время жизни» в годах $\tau = 1/\lambda$.

Расчёт по крайним значениям, характеризующим разброс переагрегирования по вариантам, дают следующие значения для величин τ : естественная растительность, глубина 10 см 1,4-2 лет; то же глубина 30 см 2,5-9 лет; «парующая» площадка, глубина 10 см – 1,4-3 лет, и глубина 30 см – 2-12 лет.

Очевидно, что полученные значения разброса величин τ определяются не только точностью их определения, но и статистической природой самого явления переагрегирования, т.е. у каждого отдельного агрегата определённого размера своя «судьба» и «продолжительность жизни».

Устойчивость агрегатов исследовалась в двух вариантах опытов: а) многократное выращивание растений без нарушения сложения почвы внутри сосудов; б) в отличие от первого варианта, почва после каждой вегетации извлекалась из сосуда, частично отбирались корни, и сосуды перенабивались перед последующим выращиванием.

В опытах использовалась та же почва, с тем же исходным соотношением между агрегатами разного размера. В качестве сосудов использовали пакеты типа Tetra Pak, ёмкостью 1 л. Общая масса почвы в сосуде – 500 г. Масса поверхностно меченых агрегатов размером 7-10 мм – 75 г. При набивке сосуда старались равномерно распределить меченые агрегаты в общем объёме почвы.

На дне пакета проделывались отверстия, на дно укладывалась капроновая сетка и кварцевый песок для дренажа. Одновременно с набивкой сосуда почва относительно равномерно увлажнялась. Всего в сосуд при набивке вносилось 100 мл воды порциями по 20 мл. Сосуды помещали в кювету, в которой устанавливался постоянный слой воды толщиной около 1 см.

В первом варианте опыта выращивалась фасоль по 3 растения в одном сосуде, во втором – горох по 5 растений на сосуд. В обоих случаях высаживались пророщенные семена, при посадке в область каждого семени добавлялось по 2-3 мл воды. Продолжительность каждого цикла вегетации – 14 суток.

При повторных выращиваниях фасоли в варианте без нарушения сложения почвы верхние 2 см почвы, в которые предполагалась повторная посадка, приходилось рыхлить ножом и извлекать часть корневой массы. При последующих радиометрических измерениях этот слой отбрасывался.

В варианте с горохом после каждого цикла вегетации почва аккуратно извлекалась из сосуда, частично по мере возможности освобождалась от корневой массы, затем повторно загружалась в сосуд, после чего повторно высаживались растения.

После проведения заданного числа циклов вегетации почва извлекалась из сосуда, от общей массы отделялись верхние и нижние 3 см почвы, которые не использовались в последующих радиометрических измерениях. Образец почвы, составляющий центральную часть сосуда, помещался на лист бумаги, аккуратно разминался до комочков не более 1 см и, по возможности, освобождался от корневой массы. Корневая масса, в принципе, может помешать последующей радиометрической оценке деструкции агрегатов, особенно если удельные активности ^{137}Cs в корневой и почвенной массах существенно различаются. Однако сравнение удельных активностей показало, что коэффициенты накопления ^{137}Cs , т.е. отношение удельных активностей радионуклида в растении и почве ($K_n = a_p/a_n$), составляли

десятые доли, остаточное содержание корней в образцах почвы не превышало десятых долей % от почвенной массы. При таких условиях вклад корневых остатков в скорость счёта почвенных образцов ничтожно мал.

После отбора корней образцы доводились до воздушно-сухого состояния и из них отбиралось по 5 проб массой по 30 г, в которых оценивался уровень деструкции агрегатов по двум измерениям радиоактивности проб: 1) N_t , т.е. скорости счёта образцов после заданных циклов вегетации и 2) N_∞ – скорость счёта тех же образцов после их механической деструкции и перемешивания. Оценка проводилась по калибровочному графику по величине $K_2 = N_t / N_\infty$.

Полученные результаты приведены в таблице 1.6.2, в которой даны значения общего разброса по повторностям и радиометрическим измерениям отдельных проб внутри каждой повторности.

В первом приближении уровень разброса в этой серии опытов сопоставим с разбросом ранее полученных результатов.

Таблица 1.6.2

**Деструкция агрегатов 7-10 мм в условиях вегетационного опыта, %
(оценка по K_2)**

Условия опыта	Последовательные выращивания растений			
	1	2	3	4
Фасоль. Без нарушения сложения почвы в сосудах	39-58	54-78	64-92	70-100
Горох. При перенабивке сосудов после каждого выращивания	42-68	57-100	100	–

Повторное выращивание растений в условиях вегетационного опыта без искусственного нарушения сложения почвы, которое происходит при перенабивке сосудов, приводит к почти полному переагрегированию фракции 7-10 мм после четырёх двухнедельных циклов выращивания. В условиях перенабивки сосудов переагрегирование ускоряется, и к третьему

циклу происходит практически полная деструкция исходных меченых агрегатов.

Представляет интерес сопоставление скоростей переагрегирования почвенной массы при поверхностной в начале эксперимента локализации радионуклида с изменением интенсивности его поглощения растением. Это сопоставление сделано для описанного выше вегетационного опыта в варианте без нарушения сложения почвы с растениями фасоли (рис. 1.6.3).

На рисунке деструкция агрегатов показана в виде коридора из крайних значений, полученных по самопоглощению β -излучения ^{137}Cs . Через четыре цикла выращивания в сосудах осталось от 0 до 30% «неразрушенных» агрегатов размером 7-10 мм.

Кривая, характеризующая относительное снижение интенсивности поступления ^{137}Cs в растения, имеет очень близкий наклон к кривым переагрегирования, что свидетельствует о тесной связи процессов поглощения растениями ^{137}Cs , первоначально локализованного на поверхности агрегатов, с процессами их переагрегирования. По-видимому, эта связь весьма сложная, поскольку переагрегирование влияет на поглощение веществ корнями растений, а последние, в свою очередь, влияют на процессы разрушения и переформирования почвенных агрегатов.

Предположения о важной роли корней растений в переагрегировании почвенной массы, основанные на изложенных выше результатах, побудили сделать оценку скорости переагрегирования под влиянием чисто физических факторов без участия растений. Опыты проводились на темно-серой лесной почве. Образец почвы массой 80 г с агрегатами разного размера, среди которых были перемешаны 12 г totally меченых ^{137}Cs агрегатов размером 7-10 мм, равномерно укладывался в чашки Петри и увлажнялся по каплям из пипетки 25 мл воды до состояния, близкого к полной влагоемкости. Затем образец замораживался в течение суток, после чего размораживался также в течение суток, затем высушивался при комнатной температуре под феном в течение трех суток. Повторно было проделано семь таких циклов. После

каждого цикла образец аккуратно извлекался из чашки Петри. Все комки размером более 1 см разламывались руками, после чего образец рассеивался на ситах по агрегатам и измерялась активность каждой фракции. Таким образом, по перераспределению метки, которая в исходном состоянии целиком находилась во фракции 7-10 мм, по другим фракциям можно судить о разрушении исходно меченой фракции и переходе продуктов разрушения в другие, более мелкие фракции. Результаты представлены на рисунке 1.6.4.

Как видно, наиболее интенсивно происходило разрушение фракции 7-10 мм после первого цикла, когда фракция сразу потеряла приблизительно 20% своей активности, а, следовательно, и массы, которая распределилась приблизительно равномерно по другим фракциям. Далее происходило более медленное и приблизительно равномерное снижение активности исходно меченой фракции. За последующие шесть циклов она потеряла еще 30% исходной активности, которая обнаруживалась в других, более мелких фракциях, однако после третьего цикла стало проявляться повышенное «обогащение» ^{137}Cs наиболее мелкой фракции, которая отсеивалась в данном опыте, <2 мм. Таким образом, за семь циклов чисто физических, достаточно жестких воздействий переагрегированию подверглась только половина исходно меченых агрегатов. В опытах с растениями такой результат получался приблизительно за 2-3 недели вегетации. Однако следует иметь в виду, что оценка переагрегирования почвенной массы в опытах с растениями и в последнем эксперименте получена разными методами. В дальнейшем, очевидно, целесообразно проведение более детальных и систематических исследований переагрегирования разными методами в различных условиях.

Последний эксперимент по переагрегированию за счёт физических процессов с использованием тотально меченых агрегатов наводит на мысль о возможности использования такого подхода в условиях натурального и вегетационного опытов для оценки скорости деструкции и переагрегирования почвенной массы, а также определения «времени жизни» агрегатов.

Данный подход представляется более универсальным по сравнению с оценкой по самопоглощению β -излучения ^{137}Cs , поскольку его реализация возможна для любой метки, в том числе и нерадиоактивной. Однако, наиболее ясная интерпретация результатов, по-видимому, может быть получена при использовании тотально меченых агрегатов с равномерным распределением метки по всему объему агрегата, при этом метка обязательно должна прочно сорбироваться почвенными частицами и существенно не перемещаться в объеме почвы благодаря диффузии. Последнему требованию удовлетворяет ^{137}Cs , который в ионной форме более чем на 90% необратимо фиксируется ППК.

Предлагаемый метод основан на изучении перераспределения метки, первоначально содержащейся только в одной фракции, по другим фракциям почвенных агрегатов. При этом по характеру перераспределения можно, в известной степени, судить о механизмах переагрегирования: эрозии агрегата с поверхности с переходом метки во фракцию менее 1 мм, раскалыванием агрегата на более мелкие фракции или, наоборот, формированием более крупных агрегатов.

В качестве примера рассмотрим результат, полученный в одном из вариантов микрополевого опыта на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве. На площадке размером 1,5 x 1,5 м выполнялась имитация обработки почвы типа глубокого рыхления на глубину до 25 см с использованием вил. При этом осуществлялось только рыхление почвенной массы без её перемешивания.

Опыт был заложен в сентябре 2015 г., наблюдения велись до осени 2018 г. На протяжении опыта в каждую вегетацию выращивали последовательно овёс посевной (*Avena sativa* L.), бобы кормовые (*Faba vulgaris* Moench.), и горчицу белую (*Sinapis alba* L.).

Для наблюдений за перераспределением метки между агрегатами готовился исходный образец почвы массой 100 г., в котором были представлены и относительно распределены в объёме образца агрегаты всех

размеров в соотношении, соответствующем данной почве. При этом, агрегаты только одной из фракций были тотально маркированы изотопом ^{137}Cs (в нашем случае это была фракция 3-5 мм). Чтобы, по возможности, избежать переагрегирования и потерь мелких агрегатов при закладке, образец равномерно в несколько приёмов увлажнялся из пульверизатора до 20% массовой влажности, после чего он помещался в капроновую нитяную сеть с размерами ячеек 0,8 см. Образцу придавалась шарообразная форма, и он помещался в углубление на поверхности таким образом, чтобы после выравнивания почвы он находился на глубине 10-15 см. Место закладки каждого образца отмечалось на поверхности.

Использование эластичной сетки с ячейками относительно крупного размера обеспечивало беспрепятственное проникновение корней и мезофауны в объём образца. На рис. 1.6.5 показан исходный образец перед закладкой и извлечённые из почвы образцы после их практически двухлетнего пребывания в почве.

Извлечённые из почвы образцы доводились до воздушно-сухого состояния и рассеивались на ситах по фракциям. При каждом отборе определялось содержание отдельных фракций, которое изменялось по сравнению с исходным и содержание ^{137}Cs во всех фракциях.

Кроме того, определялась активность почвы за пределами образца, ограниченного сеткой. Данная величина не превышала единиц процента от исходной активности и практически не влияла на результаты её распределения по фракциям образца.

Для решения задачи оценки «времени жизни» отдельных фракций наиболее информативной представляется временная динамика снижения удельной активности или содержания метки той фракции, которая в исходном состоянии включала всю метку в исходном образце. В данном примере рассмотрим только эту часть полученной информации.

На рисунке 1.6.6 представлены экспериментально полученные значения снижения содержания метки во фракции 3-5 мм. Для каждой точки приводятся величины разброса полученных значений.

Результаты наблюдений свидетельствуют, что очень быстрое снижение содержания метки в исходно меченой фракции происходит в течение первых двух месяцев после помещения образца в почву. Мы связываем это с механическими нарушениями, неизбежными во время закладки опыта. А также движениями почвенной массы в период «врастания» или укладки внесённого образца в общую почвенную массу.

Спустя этот период, то есть 2 месяца после закладки опыта, начался и продолжается в течение приблизительно 2 лет этап экспоненциального равномерного перехода метки из маркированной фракции и перераспределение её по другим фракциям почвы, то есть процесс нормального переагрегирования почвенной массы.

Уже через 11 месяцев, то есть практически через 1 год после закладки опыта, удельные активности образцов фракции во времени в пределах статистического разброса данных выравниваются. В первом приближении уже данную временную точку можно рассматривать как величину τ , то есть величину среднестатистического времени жизни агрегатов размера 3-5 мм в конкретных условиях опыта.

Более корректные представления о величине τ может дать оценка этой величины на основании представлений об экспоненциальном характере обновления почвенной массы агрегатов во времени.

В полученный коридор статистического разброса данных за весь период наблюдений вписывается экспонента со значением λ , равным 0,034 мес⁻¹. Напомним, что по экспоненциальному закону величина $\tau = 1/\lambda$, то есть $\tau = 1/0,034 \approx 29,4$ мес. $\approx 2,4$ года. Полученная величина близка к значениям, полученным ранее методом самопоглощения β -излучения в образце почвы.

Если процесс обновления почвенной массы агрегатов подчиняется экспоненциальному закону, то, в принципе, наряду с τ можно выделить ещё некоторые точки, наглядно характеризующие процесс.

$T_{1/2}$ – период половинного обновления, то есть промежуток времени, за который произойдёт дезагрегирование половины содержания данной фракции $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 20,4$ мес $\approx 1,7$ года.

$\tau = 29,4$ мес. = 2,4 года – за это время, согласно экспоненциальному закону, будет дезагрегировано 73,3% фракции данного размера.

T_{99} – условно можно определить как время «полного» дезагрегирования и обновления всей почвенной массы данной фракции агрегатов. Величина рассчитывается как время, после которого фракция будет содержать не более 1% не затронутых деградационными процессами агрегатов. $T_{99} = (\ln 10 / 1) / \lambda = 135,4$ мес = 11,3 года.

Мы намеренно не приводим результатов по всем вариантам микрополевого опыта, поскольку это выходило бы за рамки задач, вытекающих из общего названия работы. Цель данной статьи – показать дополнительные методические возможности изучения роли растений в жизни почвы.

Когда речь идёт о почвенно-профильном уровне дифференциации, роль растений, очевидно, не вызывает сомнений. В данном случае один из наглядных результатов их деятельности – это формирование органогенных горизонтов, обладающих наиболее благоприятными свойствами для корневого питания растений.

На агрегатном уровне такая направленность деятельности растений и их корневых систем не очевидна. Однако представляется, что прямая экспериментальная проверка такой возможности растений не представляла бы серьёзных затруднений. Уже выполненные наблюдения дают основание для обоснованных доводов в пользу положения о возможности корневых систем формировать дифференциацию почвенной массы и, соответственно, градиентов концентраций на агрегатном уровне. Главный из этих доводов –

реально наблюдаемое образование локальных зон, состоящих из корневых остатков. Эти зоны обладают рядом свойств, отличающих их от средневзвешенной почвенной массы в сторону благоприятную для развития в этих зонах, как корневых систем последующих поколений растений, так и микробиологической деятельности. Едва ли целесообразно останавливаться на очевидных отличиях физических параметров порового пространства, образованного многолетними ходами корней, от внутриведной массы. Ограничимся сравнением содержания макроэлементов минерального питания в корневых остатках и в минеральной почвенной массе. В случае почвы мы воспользуемся показателями с обеспеченностью элементами минерального питания выше среднего уровня (табл. 1.6.3).

Таблица 1.6.3

Химический состав, % на воздушно-сухое вещество корневых остатков и минеральной части дерново-подзолистой суглинистой почвы

Элемент	Растительные остатки	Почва	
		доступные формы	общее содержание
N	0,5-4,0 0,02-0,06*	0,03-0,06	0,07-0,2
K ₂ O	0,5-1,5	0,02-0,04	2-3
CaO	0,1-2	0,02-0,05	1-3
P ₂ O ₅	0,3-1,3	0,02-0,04	0,1-0,2

*минеральные формы азота в корневых остатках

Преимущество по концентрационным показателям для зольных элементов – налицо. С микроэлементами наблюдается аналогичная картина или ещё более сильно выраженные концентрационные различия в растительных остатках и минеральной почвенной массе. Ситуация с азотом, по-видимому, требует уточнения, поскольку многие растения способны поглощать не только минеральные формы азота, но ряд аминокислот, а последние в составе растительных остатков являются несравненно более

доступны для растений, чем азот в составе устойчивых гумусовых веществ, входящих в состав почвенной массы.

Приведённые данные, на наш взгляд, убедительно доказывают возможность формирования значительных градиентов концентраций в почвах по элементам минерального питания.

В почвах под естественной растительностью, по-видимому, эти градиенты более устойчивы, чем в пахотных почвах, подверженных агрогенной гомогенизации. Внутриагрегатное поровое пространство, доступное для проникновения самых тонких корней и корневых волосков, также участвует в формировании градиентов концентраций. Вопрос о количественном соотношении площадей и выраженности концентрационных градиентов с отдельным учётом меагрегатного и внутриагрегатного порового пространства остаётся открытым, хотя здесь, вероятно, возможны теоретические оценки на основе известных данных о структуре порового пространства. Также остаётся неизученным вопрос о роли корневых выделений в формировании градиентов концентрации элементов минерального питания и токсичных веществ в почвах.

В пахотных почвах, особенно в условиях жёсткого механического воздействия структура порового пространства и агрегатное состояние почвы и, соответственно, градиенты концентрации подвержены разрушению, в результате чего в ряде случаев может снижаться уровень плодородия почвы. Однако, в условиях загрязнения почв различными поллютантами комплекс агротехнических приёмов, ведущих к снижению биопродуктивности почв за счёт снижения уровня агрегированности почвы и дифференциации её состава в корнеобитаемом слое способствует более эффективному проявлению сорбционных свойств почвы и снижению уровня загрязнения биопродукции.

Для изучения нисходящего перемещения ^{137}Cs в нижележащие горизонты почвы при аэральном загрязнении луговой растительности был проведён эксперимент с тимофеевкой луговой при нанесении радионуклида на листовую поверхность. По истечении вегетационного периода (2,5 мес.)

изучалось распределение ^{137}Cs по глубине, а также в составе отдельных гранулометрических фракций и в корневых остатках. Часть полученных результатов приведена в таблице 1.6.4.

Если по данным таблицы 1.6.4 оценивать распределение ^{137}Cs по глубине, то мы имеем обычную картину формирования почвенно-профильного градиента концентрации, при котором верхний слой почвы мощностью в единицы сантиметров содержит более 90% радионуклида.

Иная ситуация складывается в различных, более тонких структурных компонентах почвенной массы. Во-первых, отметим, что удельная активность корневой массы, в отличие от почвенной массы, с глубиной не убывает. Очевидно, это связано с наличием быстрых транспортных потоков веществ по проводящим системам растений, ведущих к распределению ^{137}Cs по всему растению. Повышенная, хотя и не столь значительная как у корневой массы, наблюдалась удельная активность наиболее мелких фракций, начиная с 2 мм (Торшин и др., 2014). Особенно это относится к фракции <0,5 мм, данные по которой приведены в таблице 1.6.4.

Таблица 1.6.4

Удельные активности и коэффициенты концентрирования ^{137}Cs в почвенной массе (средневзвешенные значения), во фракции агрегатов <0,5 мм и в составе корневых остатков на различной глубине при листовом поглощении радионуклида растениями тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.)

Глубина, см	Почвенная масса в целом*	Фракция агрегатов <0,5 мм	Корневые остатки
0-4	$\frac{2,20 \pm 0,08}{1}$	$\frac{6,51 \pm 0,07}{3,0}$	$\frac{8,31 \pm 0,09}{3,8}$
4-8	$\frac{0,89 \pm 0,10}{1}$	$\frac{2,40 \pm 1,30}{2,7}$	$\frac{5,11 \pm 0,27}{5,7}$
8-12	$\frac{0,31 \pm 0,04}{1}$	$\frac{1,03 \pm 1,00}{3,3}$	$\frac{17,10 \pm 0,12}{42,2}$

* в числителе – удельная активность, Бк/г;

в знаменателе – коэффициент концентрирования

Данное обстоятельство, вероятно, связано с более высоким уровнем удельной активности мелких агрегатов. Само наличие ^{137}Cs на агрегатах в

условиях данного опыта может быть объяснено его переходом из корневой массы в составе корневых выделений, а также наличием в корневых волосках, которые невозможно отделить от почвенной массы при используемых приёмах фракционирования.

Таким образом, в условиях данного опыта высокие градиенты концентраций ^{137}Cs формировались, прежде всего, на контактах корней с остальной почвенной массой, а также на поверхности агрегатов. Ведущая роль в их формировании принадлежала растениям.

Судить о размерах градиентов концентраций можно на основании коэффициентов концентрирования элемента в любой структурной составляющей почвы, находящейся в определённом её объёме. Напомним, что этот коэффициент представляет собой отношение концентраций (в нашем случае – удельных активностей) данного элемента в определённой структурной компоненте почвы к его средневзвешенной концентрации в исследуемом объёме.

Отметим одно обстоятельство, обнаружившееся в данном эксперименте. Градиенты концентрации, связанные с деятельностью растений, возрастали с глубиной. Для условий опыта это связано со снижением удельной активности ^{137}Cs в почвенной массе в более глубоких слоях почвы и относительно высокой и постоянной концентрации ^{137}Cs в корневой массе на разной глубине.

В данной статье рассмотрена лишь принципиальная возможность формирования градиентов концентрации биологически значимых элементов с участием корневых систем растений на агрегатном уровне на примере ^{137}Cs . В заключение отметим, что наши представления в этой области, касающиеся как элементов минерального питания растений, так и разнообразных токсичных веществ весьма ограничены, хотя они могут сыграть важную роль в поиске путей устойчивой хозяйственной деятельности.

2. БИОТЕХНОЛОГИИ

2.1. ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ИНУЛИНСОДЕРЖАЩИХ РАСТЕНИЙ *IN VITRO*

В настоящее время глобализация и информационная революция обострили существенные проблемы мировой экономики. Данное обстоятельство необходимо учитывать в Российской Федерации, т.к. современное развитие экономики страны связано с импортозамещением. Особую актуальность этот вопрос приобрел еще в 2015 году, когда США, страны ЕС и другие западные партнеры продлили экономические санкции против России. По состоянию на 2022 год данные санкции стали более жесткими и коснулись всех отраслей экономики. Поэтому необходимо пересмотреть системы управления производством и получать свою конкурентоспособную продукцию высокого качества. Данное направление приобретает особую актуальность для фарминдустрии и пищевой промышленности, направленной на создание продуктов функционального значения, в состав которых входят, например, пищевые волокна, антиоксиданты, пребиотики и др. Потребление таких продуктов в России составляет примерно 1400 т в год. Необходимость потребления такой продукции связана, прежде всего, с повышением иммунного статуса человека.

Одним из направлений научных исследований является создание новых форм, гибридов и сортов сельскохозяйственных растений, обладающих повышенной продуктивностью, а также устойчивостью к различным стрессовым факторам окружающей среды. Особый интерес представляют исследования, направленные на получение растений, обладающих высоким биосинтетическим потенциалом, способных накапливать минеральные и органические соединения, витамины, вещества фенольной природы и др.,

которые оказывают благоприятное действие на организм как человека, так и животных(Калашникова, 2020). Вторичные соединения, обладающие сладким вкусом, принадлежат к очень разным химическим классам, например, лактонам и фенольным соединениям, флавоноидам, терпеноидам и сапонидам, а также белкам. Только несколько натуральных молекул со сладким вкусом (глициризин, стевиол) в настоящее время имеют более широкое применение, что объясняется трудоемкими условиями культивирования, поскольку растениям требуются особые условия для их роста, или отсутствием простых методов для выделения соединений. Кроме того, в большинстве случаев отсутствует объяснение молекулярных механизмов, которые запускают способы биосинтеза и накопления соединений в интактных растениях(Калашникова и др., 2022). Таким образом, многие принципиально интересные природные вторичные растительные метаболиты со сладким вкусом в настоящее время имеют ограниченную ценность для рынка. Поскольку ожидается, что мировой рынок метаболитов сладкого вкуса значительно вырастет в течение следующих нескольких лет, необходимо расширить знания о регуляции систем биосинтеза и продукции посредством дополнительных исследований и разработать метод, гарантирующий высокий выход соответствующих продуктов - метаболитов.

Особый интерес в последнее время вызывают растения, способные образовывать в тканях инулин – природный полисахарид, не имеющий синтетических аналогов. Он содержится более чем в 3000 растений, преимущественно в их корнях и клубнях, среди которых выделяются цикорий (*Cichorium intybus* L.), топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.), батат (*Ipomoea batatas* L.), девясил (*Inula helenium* L.), спаржа (*Asparagus officinalis* L.), одуванчик (*Taraxacum officinale* Wigg.) и др.

Инулин используют в качестве пребиотика, заменителя жира, сахара, модификатора текстуры, а также для разработки функциональных пищевых продуктов с целью улучшения работы ЖКТ. По литературным данным,

инулин играет превентивную роль в отношении желудочно-кишечных осложнений, таких как запоры и многие заболевания ЖКТ, особенно заболевания раздраженного кишечника и рак толстой кишки, а также улучшает перистальтику кишечника. Кроме того, потребление инулина усиливает усвоение кальция, магния и железа и стимулирует иммунную систему (Shoaib и др., 2016). Исследования *in vitro* показали, что инулин обладает активностью по удалению радикалов и способностью восстанавливать железо, хотя они слабее, чем у витамина С. Кроме того, исследования кур-несушек *in vivo* показали, что пищевые добавки с инулином значительно улучшили антиоксидантный статус этих птиц (Shang и др., 2018). Поэтому природные источники инулина имеют большую ценность, обладая пользой для здоровья человека.

Анализ состояния рынка показывает, что, как правило, в производстве функциональных продуктов питания, российские производители используют импортный инулин, полученный из цикория (производитель – Германия, Бельгия). Однако все больший удельный вес по объемам производства в мире занимает инулин, выделенный из клубней топинамбура (производитель – Китай). В настоящее время глобализация и информационная революция обострили существенные проблемы мировой экономики, что привело к импортозамещению ряда товаров и продуктов. Поэтому необходимо пересмотреть системы управления производством и получать свою конкурентоспособную продукцию высокого качества. Данное направление приобретает особую актуальность и для производства продуктов питания функционального и диетического назначения. Развитие клеточных и генетических технологий *in vitro*, используемых для производства биологически активных веществ (БАВ) из растений, являются перспективными подходами к выполнению принципов «зеленых» технологий. Данные технологии являются экологически безвредными по сравнению с традиционными способами производства и помогают грамотно управлять ресурсами и снижать негативную нагрузку на природу.

Производство БАВ *in vitro*, как правило, осуществляется из микроклонов или дедифференцированных каллусных культур. Такие технологии позволяют экономить производственные площади, проводить работы в течение года и не зависеть от внешних условий выращивания. Главным преимуществом таких технологий является возможность управления биосинтетическим потенциалом растений и дедифференцированных каллусных культур в условиях *in vitro*, получать штаммы и линии суперпродуцентов вторичных метаболитов. Данный процесс зависит от генетических, биохимических и физиологических особенностей растений, а также от условий выращивания.

В отличие от основных продовольственных культур, инулинсодержащие растения, в основном, дают сравнительно высокий урожай в относительно теплых климатических условиях. Среди абиотических стрессов известно, что холодовой стресс является одним из основных факторов окружающей среды, ограничивающих сельскохозяйственное производство, вызывая ущерб до и после сбора урожая, что ежегодно приводит к огромным финансовым потерям в сельском хозяйстве. Холодовой стресс также оказывает огромное влияние на выживание и географическое распространение растений. Стандартные методы селекции демонстрируют ограниченный успех в создании устойчивых к холоду сельскохозяйственных растений, поскольку для большинства чувствительных к холоду растений существует потребность в межвидовой или даже межродовой гибридизации. Среди методов биотехнологии, наиболее перспективных в создании новых форм растений, обладающих устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессовым факторам окружающей среды, следует отметить клеточную и генную инженерию. Среди методов клеточной инженерии особое место занимает клеточная селекция *in vitro*, основанная на культивировании дедифференцированных клеток на питательных средах в присутствии селективного фактора с последующим отбором устойчивых клеточных

культур к изучаемому стрессу и получением из них растений-регенерантов (Калашникова, 2020). При холодовом стрессе у растений на клеточном уровне наблюдаются нарушения функций, такие как деградация мембран, образование АФК, денатурация белков и накопление токсичных продуктов. Кроме того, растения пытаются отреагировать на этот стресс изменением экспрессии генов, изменением состава мембран, синтезом белков холодового шока и антиоксидантных ферментов, которые, как считается, играют роль в защите клеток от повреждений, индуцированных холодом. В частности, когда растения постепенно подвергаются холодовому стрессу, эти изменения на клеточном уровне могут вызывать устойчивость к холодовому стрессу, процесс, известный как «холодовая акклиматизация». Углеводы, аминокислоты (пролин, глицин, аланин и серин) и полиамины считаются осмопротекторами. Это низкомолекулярные вещества, которые вырабатываются в больших количествах при воздействии различных стрессовых факторов, таких как засоление, засуха, холод и помогают пережить стрессовые условия. В случае холодового стресса, в период замерзания, с начальным образованием льда в апопластическом пространстве водный потенциал снижается, что приводит к выходу воды из клетки во внеклеточный матрикс, вызывая внутриклеточную дегидратацию. Чтобы предотвратить обезвоживание клеток, осмопротекторы, такие как углеводы, накапливаются в клетке, чтобы уменьшить разницу в водном потенциале между апопластическим пространством и внутри клетки. Дегидрины могут играть роль в сопротивлении холоду, возможно, предотвращая дестабилизацию мембран, которая происходит во время осмотического сокращения, связанного с холодом. Накопление фруктанов, в частности инулина, в периоды замедления роста при низких положительных температурах (холодовая акклиматизация) часто коррелирует с повышением устойчивости к замерзанию (Pontis, 1989; Suzuki, Nass, 1988).

Для расширения ареала возделывания инулинсодержащих растений (цикорий и батат) необходимо создавать новые сорта и гибриды растений, обладающих устойчивостью к низким положительным температурам.

На кафедре биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева проводятся исследования с инулинсодержащими растениями, в частности, с цикорием (*Cichorium intybus* L.) и бататом (*Ipomoea batatas* L.). Программа экспериментальных исследований предусматривает создание новых форм растений, обладающих устойчивостью к низким положительным температурам, а также каллусных культур с повышенным содержанием инулина.

Исследования проводили с отечественным сортом цикория обыкновенного, полученного из Ростовской ОСЦ-филиала ФГБНУ ФНЦО (сорт Петровский), а также 9 сортами батата отечественной и зарубежной селекции (Порто Баттераба, Тайнунг, Порто Рико, Jewel, Пурпл, Винницкий розовый, Рубин Королины, Мускатный, Сухумский) в соответствии с методиками, разработанными на кафедре биотехнологии (Калашникова и др., 2017).

На первом этапе исследований по культуре *in vitro* необходимо получать хорошо растущую стерильную культуру. Для этого применяют различные стерилизующие агенты и временные экспозиции воздействия. В зависимости от исследуемого объекта используют прямую или ступенчатую технологию стерилизации. Нами установлено, что для батата и цикория схема стерилизации растительного материала различна. Например, для размножения батата *in vitro* в качестве первичного экспланта используют микрочеренки, изолированные с молодых побегов, поэтому технология стерилизации будет ступенчатая. Для цикория в культуру *in vitro* вводят семена, стерилизация которых проводится в один этап и предполагает выдерживание их в растворе сулемы (0,1 %) в течение 10 минут с последующим промыванием стерильной дистиллированной водой.

Для получения микроклонов растений используют метод клонального микроразмножения, основанный на активации развития существующих в растении меристем или индукции образования адвентивных почек непосредственно на первичном экспланте. Для этого необходимо включать в состав питательной среды цитокинины и ауксины. Наши исследования показали, что для реализации морфогенетического потенциала батата и цикория применяют разные регуляторы роста. Так, например, для быстрого получения микроклонов батата *in vitro* достаточно использовать питательную среду, содержащую ½ минеральных солей по прописи Мурасиге и Скуга (МС), кинетин 0,5 мг/л и ИУК 0,1 мг/л, а для цикория – минеральные соли по МС в сочетании с БАП 1 мг/л и ИУК 0,1 мг/л. Несмотря на использование разных по гормональному составу питательных сред, все же наблюдается сходство в реализации морфогенетического потенциала. На этапе микроразмножения наблюдается спонтанное образование адвентивных корней, что приводит к удешевлению технологии получения генетически однородного посадочного материала в количестве, необходимом для проведения селекции и решения задач АПК.

Второе направление исследований – получение клеточных каллусных культур. Каллусная ткань является хорошей модельной системой для изучения вторичных метаболитов. Известно, что биосинтетический потенциал клеток находится под контролем разных факторов физической и химической природы, изменение которых оказывает существенное влияние на стимулирование или ингибирование биосинтеза ценных веществ. Кроме того, получение хорошо пролиферирующей и морфогенной каллусной ткани крайне необходимо для проведения исследований по клеточной селекции на устойчивость к различным факторам абиотической и биотической природы.

Для получения каллусной ткани использовали сегменты листовых пластинок, изолированные с асептических растений цикория и батата, которые культивировали на питательных средах с разными ауксинами (2,4-Д, ИУК, НУК) в разных концентрациях. В результате проведенных

исследований установлены некоторые закономерности в образовании каллусной ткани цикория и батата. Во всех вариантах пролиферацию каллусных клеток наблюдали в местах среза и повреждений, как правило, на 7...10-е сутки. Однако следует отметить, что существенное влияние на интенсивность образования каллусной ткани, ее консистенцию и цвет оказывали применяемые ауксины и их концентрации. Экспериментально установлено, что при использовании НУК или ИУК формировалась каллусная ткань ярко-желтого цвета, средней плотности и с образованием меристематических очагов. При использовании НУК каллусная ткань имела плотную консистенцию и была белого или светло-желтого цвета. Иная картина наблюдалась при культивировании листовых эксплантов на среде, содержащей 2,4-Д. В этих условиях каллусная ткань формировалась бурого цвета, имела рыхлую консистенцию и в процессе культивирования погибала. Кроме того, было установлено, что оптимальные условия для пролиферации каллусной ткани цикория – наличие в составе питательной среды НУК или ИУК в концентрации 7,5 мг/л, в то время как для батата – 1 мг/л. Следует отметить, что интенсивность каллусогенеза зависит не только от гормонального состава питательной среды, но и от спектрального состава света. Экспериментально установлено, что максимальную пролиферацию каллусной ткани цикория и батата можно получить при использовании в равных соотношениях красного (R) и дальнего красного (RF) спектров.

Гормональный состав питательной среды, а также спектральный состав света оказывают существенное влияние не только на рост каллусной ткани, но и на способность дедифференцированных клеток накапливать инулин. Наши исследования показали, что присутствие в питательной среде ИУК приводило к накоплению инулина в каллусной ткани цикория в 5 раз выше по сравнению с НУК (табл. 2.1.1). Причем это соотношение прослеживалось как на 4-м, так и на 5-м пассажах. Повышенное содержание инулина в каллусной ткани, полученной на среде с ИУК, можно объяснить появлением

меристематических очагов в отличие от среды с НУК, на которой формировалась не морфогенная каллусная ткань.

Таблица 2.1.1

Содержание инулина в каллусной ткани цикория

Ауксин	Среда экстракции	Повторность			Среднее значение оптической плотности	Фруктозо-содержащие сахара, %	Содержание инулина, %
		1	2	3			
4 пассаж							
НУК	спирт	0,0387	0,0387	0,0387	0,0387	4,2928	1,15
	вода	0,0491	0,0491	0,0491	0,0491	5,4464	
ИУК	спирт	0,0424	0,0438	0,0442	0,0435	4,8215	5,04
	вода	0,0889	0,0891	0,0887	0,0889	9,8612	
5 пассаж							
НУК	спирт	0,0436	0,0422	0,0365	0,0407	4,3788	1,23
	вода	0,0434	0,0478	0,0477	0,0463	5,6002	
ИУК	спирт	0,0478	0,0448	0,0469	0,0465	4,8441	5,27
	вода	0,0854	0,0855	0,0867	0,0859	9,6449	

Следует отметить, что применение ИУК и выращивание каллусной ткани в разных режимах освещения приводит к увеличению содержания инулина, по сравнению каллусной тканью, выращиваемой на среде с НУК (табл. 2.1.2).

Таблица 2.1.2

Влияние условий освещения на содержание инулина в каллусной ткани цикория

Вариант	Инулин, %	
	НУК	ИУК
контроль	3,79	11,25
темнота	7,59	3,86
RF>R	4,86	12,71
RF=R	5,59	20,03
RF<R	13,31	5,79

Третье направление исследований – получение растений батата, устойчивых к действию гипотермического стресса. Низкие положительные температуры оказывают негативное влияние на рост, развитие,

продуктивность и урожай растений батата. Это прежде всего связано с биологическими особенностями самого растения. Для батата критической температурой является температура 14 °С, при которой приостанавливаются все ростовые процессы, прежде всего, рост надземной части растений, а при температуре 10 °С полностью останавливается обмен веществ, что делает нецелесообразным его дальнейшее выращивание в почве, так как надземная биомасса погибает. Нами разработан и запатентован способ получения растений, устойчивых к низким положительным температурам. Он заключается в культивировании каллусной ткани в условиях действия пониженных положительных температур (+4 °С) на питательной среде МС, содержащей препарат Мивал в концентрации 150 мг/л, с последующим получением из устойчивых каллусных клеток растений-регенерантов.

Таким образом, на основании проведенных многолетних исследований на кафедре биотехнологии создана коллекция *in vitro* клеточных культур (микрклоны и каллусная ткань) инулинсодержащих растений (батат и цикорий), а также установлены оптимальные условия их культивирования, обеспечивающие реализацию морфогенетического потенциала изучаемых объектов.

2.2. ИЗУЧЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В АСЕПТИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ ЧАБЕРА САДОВОГО (*SATUREJA HORTENSIS* L.)

Растения продолжают оставаться для человека незаменимым сырьем для легкой и пищевой промышленности, источником многих ценных биоактивных молекул/фармакофоров (Dias, Urban, 2012; Giri, Zaheer, 2016). Сельское хозяйство традиционно обеспечивало все отрасли экономики растительным сырьем в необходимом количестве, возделывая культуры на основе фундаментальных знаний и технологий агрономии и методов

земледелия. Однако стремительный рост населения планеты и связанные с этим экологические проблемы приводят к необходимости постоянно внедрять новые наукоемкие технологии во все области народного хозяйства. По оценкам Alexandratos и Bruinsma, к 2050 году потребуется на 60 % больше продуктов питания, чем производится сегодня (Alexandratos, Bruinsma, 2012), и традиционное сельское хозяйство не сможет удовлетворить эти требования. Предполагается, что клеточное сельское хозяйство (cellular agriculture) является одним из решений (Mattick, 2018; Nordlund и др., 2018). Агропромышленные технологии на основе культур клеток и тканей растений (plant cell-based cellular agriculture) уже сегодня активно используются для производства ценных ингредиентов для пищевой промышленности (Eibl и др., 2018; Gubser и др., 2021). Рынок лекарственных средств на основе растительного сырья также представляет собой активно растущий сектор – более четверти всех фармацевтических препаратов в промышленно развитых странах имеет растительное происхождение. Согласно отчету ВВС, рынок лекарственных средств на основе растительных ресурсов вырастет с 29,4 млрд. долл. США в 2017 году до примерно 39,6 млрд. долл. США к 2022 году с годовым темпом роста в 6,1 % (www.bccresearch.com). Основой при разработке промышленных биотехнологических процессов служат обширные знания в области физиологии и биохимии растительных объектов в условиях *in vitro*, молекулярной биологии и биоинженерии. Таким образом, расширение сведений об особенностях культивирования лекарственных, ароматических и ценных сельскохозяйственных растений, в особенности их клеточных культур, в условиях *in vitro* способствует развитию этого сектора промышленности и является актуальной задачей исследований (Eibl и др., 2018).

Чабер садовый (*Satureja hortensis* L.) – травянистое эфиромасличное растение семейства яснотковые (*Lamiaceae* Martinov). Используется в народной медицине стран Ближнего Востока, официальной медицине,

косметологии и пищевой промышленности. Экстракты и эфирное масла чабера садового обладают широким спектром биологической активности – антимикробной, противовирусной, антиоксидантной, фунгицидной, антиноцицептивной, противоопухолевой, гипогликемической, гиперлипидемической, ингибирование агрегации β -амилоида и др. (Тере, Silkiz, 2016). Основными компонентами фитохимического профиля являются монотерпеноиды пара-ментанового ряда – тимол, карвакрол, *n*-цимен и γ -терпинен, кроме того надземные части богаты флавоноидами, содержат розмариновую кислоту (Kemertelidze и др., 2012; Тере, Silkiz, 2016).

Проведенные исследования выявили ряд биологических активностей, связанных с накоплением флавоноидов и фенилпропаноидов чабера садового. Mchedlishvili, Mchedlishvili, Kuchukashvili, (2005) установили, что флавоноидная фракция *S. hortensis* снижает уровень холестерина в сыворотке крови у кроликов. Накопление фенольных соединений (флавоноидов и розмариновой кислоты) обуславливает гипогликемическую активность экстрактов – исследования были проведены в Грузии, изучали растения местных популяций, в результате был разработан препарат Сатурин. В состав капсулы вошли водный экстракт и мелкодисперсный порошок листьев. Препарат зарегистрирован в Министерстве труда, здравоохранения и социального обеспечения Грузии в качестве лекарственного средства при лечении сахарного диабета 2 типа (Kemertelidze и др., 2004; Kemertelidze и др., 2012). Активное использование чабера садового в народной медицине стран Ближнего Востока и официальной медицине стало причиной изучения качественного и количественного состав его флавоноидов исследовательскими коллективами из разных стран – Грузии, Сербии, Румынии, Турции, Финляндии, Греции и России (Маланкина и др., 2018; Boroja и др., 2018; Chkhikvishvili и др., 2013; Echarhou и др., 2002; Kemertelidze и др., 2004; 2012; Kosar и др., 2005; Lung и др., 2013; Mašković и др., 2017).

Было установлено, что флавоноиды накапливаются в надземных частях *S. hortensis* как в виде агликонов, так и гликозидов, в качестве углеводного остатка наиболее часто встречается глюкоза (Kemertelidze и др., 2004). В надземных частях *S. hortensis* были обнаружены флавоноиды следующих классов: апигенин (Boroja и др., 2018; Chkhikvishvili и др., 2013; Kosar и др., 2005; Lung и др., 2013; Mašković и др., 2017), лютеолин (Boroja и др., 2018; Chkhikvishvili и др., 2013; Kosar и др., 2005; Lung и др., 2013; Mašković и др., 2017), кверцетин (Mašković и др., 2017), кемпферол (Boroja и др., 2018; Mašković и др., 2017), изокверцитрин (Boroja и др., 2018), катехин и эпикатехин (Chkhikvishvili и др., 2013), нарингенин (Boroja и др., 2018; Lung и др., 2013; Mašković и др., 2017), эриодиктиол (Kosar и др., 2005), апигенин-7- β -D-рутинозид (изороифолин) (Kemertelidze и др., 2012), апигенин-8-C-глюкозид (витексин) (Boroja и др., 2018), апигенин-7-глюкозид (апигетрин) (Boroja и др., 2018; Chkhikvishvili и др., 2013; Kosar и др., 2005; Mašković и др., 2017), лютеолин-7-O- β -D-глюкопиранозид (цинарозид) (Kemertelidze и др., 2012), лютеолин-7- β -D-глюкуронид (Kemertelidze и др., 2012), лютеолин-7- β -D-рутинозид (Kemertelidze и др., 2012), лютеолин-7-O-глюкозид (Kosar и др., 2005; Mašković и др., 2017), кверцетин-3-O-рутинозид (рутин) (Chkhikvishvili и др., 2013; Mašković и др., 2017), кверцетин-3-рамнозид (кверцитрин) (Boroja и др., 2018), кверцетин-3-O-глюкозид (изокверцитрин) (Boroja и др., 2018), кемпферол-3-O-глюкозид (астрагалин) (Boroja и др., 2018), нарингенин-7-O-неогесперидозид (нарингин), нарингенин-7-O-глюкозид (Kosar и др., 2005), гесперидин (Chkhikvishvili и др., 2013).

На количественный состав флавоноидов в экстрактах чабера садового, кроме условий произрастания растений, оказывают существенное влияние способ экстракции и вид растворителя. Pländer, Gontaru, Blazics (2012) установили, что экстрагент влияет на содержание общей суммы флавоноидов, значения колебались от 1,37 % (экстрагент вода:этанол 1:1) до 7,09 % (экстрагент этилацетат). Bros, Soran, Briciu (2009) изучали влияние методов экстракции и условий высокоэффективной жидкостной

хроматографии на содержание розмариновой кислоты и лютеолина. В надземных частях в зависимости от способа экстракции может содержаться от 16,27 мг/г DW (способ экстракции мацерация, растворитель этанол) до 28,2 мг/г DW (субкритическая водная экстракция) флавоноидов в рутиновом эквиваленте (Mašković и др., 2017).

Свет является важным абиотическим элиситором, который влияет на целый ряд физиологических процессов в растении, определяя особенности роста и развития (Gupta, Jatothu, 2013). Так, у ряда видов были исследованы изменения морфологии растений и увеличение производства веществ вторичного синтеза в ответ на применение разных по спектру источников света (Gam и др., 2020; Jao и др., 2005; Jao, Fang, 2004; Okamoto и др., 1996). Ответная реакция на различные режимы освещения зачастую обусловлена тем, что биосинтез флавоноидов происходит по фенилпропаноидному пути и регулируется многочисленными ферментами (гены *pal*, *chs*, *chi* и *fls* и т.д.), активность которых как прямо, так и косвенно индуцируется параметрами освещения – спектральным составом и интенсивностью (Ma и др., 2019; Zhang и др., 2018). Культивирование под монохромными источниками света позволяет выявить влияние той или иной доли спектра на протекание биосинтеза флавоноидов. Так, культивирование под синими светодиодами (460-470 нм) приводило к увеличению накопления флавоноидов у ряда видов по сравнению с другими режимами монохромного освещения (зеленым, красным и желтым) у *Anoectochilus roxburghii* (Wang и др., 2018), *Pisum sativum* L. (Liu и др., 2016), проростков *Glycine max* L. (Azad и др., 2018) и др. Комбинирование синего и красного света также приводило к увеличению накопления флавоноидов у *Anoectochilus roxburghii* за счет активации экспрессии генов *chi* и *fls* (Wang и др., 2020).

Таким образом, культура клеток и тканей *S. hortensis*, сохранившая способность к синтезу ценных вторичных метаболитов, характерных для интактных растений, может быть сырьем для пищевой промышленности, при производстве функциональных пищевых добавок и лекарственных средств.

Все вышеперечисленное стало причиной нашего интереса к изучению асептической культуры чабера садового и особенностей накопления в ней биологически активных вторичных метаболитов – флавоноидов.

В исследованиях, проводимых на кафедре биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, для *введения в культуру in vitro* использовали семена *S. hortensis* сорта Гном.

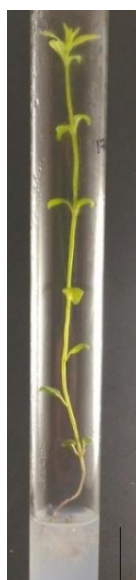
Первый блок экспериментов был направлен на изучение накопления флавоноидов в асептических растениях. Для получения асептических проростков семена *S. hortensis* обрабатывали 5 %-ным раствором гипохлорита натрия (NaOCl) в течение 10 минут, затем промывали в двух порциях стерильной дистиллированной воды и помещали в чашки Петри с безгормональной питательной средой Мурасиге и Скуга (МС) (Murashige, Skoog, 1962) для проращивания. В возрасте 8...10 суток проростки были пересажены в пробирки со средой того же минерального состава. Через 30 суток культивирования растения были разделены на сегменты и пересажены в стеклянные культуральные сосуды объемом 0,9 литра, закрытые ватно-марлевыми пробками, по 3...4 штуки в сосуд с питательной средой того же состава для более интенсивного набора биомассы. Культивирование асептических растений осуществляли в условиях световой комнаты при 16-часовом фотопериоде, температуре 21 ± 2 °С, под люминесцентными лампами белого света освещенностью 2500 люкс, плотность потока фотонов $22 \pm 2,2$ мкмоль/(с·м²). Продолжительность пассажа составляла 30 суток.

К концу 0-го пассажа растения достигали в высоту 6,5...7,5 см, формировали 3...5 пар настоящих листьев (рис. 2.2.1а). Растения 1-го пассажа развивались из сегментов, содержащих один или два узла верхней, средней или нижней части растений 0-го пассажа, и через 30 суток культивирования достигали в высоту 15...20 см, формировали 6...9 узлов и 2...6 боковых побегов, корневая система развивалась активно. Большинство растений в конце 2-го пассажа (рис. 2.2.1б) независимо от происхождения сегмента при черенковании (узлы верхней, средней или нижней части материнского

растения) формировали бутоны. Цветение у растений 3-го пассажа началось в среднем через 10 суток культивирования и к концу пассажа большинство растений находились в фазе массового цветения (рис. 2.2.1в, г). Мы культивировали асептические растения *S. hortensis* на питательной среде без добавления гормонов и отмечали активное образование корней (рис. 2.2.1г) у нодальных сегментов после черенкования, в то время как Pistelli, Noccioli, D'Angiolillo, (2013), использовали ауксины при клональном микроразмножении изучаемых генотипов *S. hortensis* (Pistelli и др., 2013).

Для определения суммарного содержания флавоноидов использовали колориметрический метод (спектрофотометр Varian Cary® 50 UV-Visible). Подготовка смеси для спектрофотометрирования – 1000 мкл этанольного экстракта, 50 мкл спиртового 10 %-ного раствора хлорида алюминия ($AlCl_3$), 50 мкл ацетата калия (CH_3COOK), 1400 мкл дистиллированной воды, выдерживали 30 минут. Оптическую плотность измеряли при длине волны 415 нм. Калибровочный график строили по кверцетину. Для изучения особенностей накопления флавоноидов в асептических растениях *S. hortensis* измеряли общую сумму флавоноидов в различных органах на протяжении трех пассажей культивирования (табл. 2.2.1).

Так, в листьях асептических растений в конце 0-го пассажа содержание флавоноидов было в 24 раза выше, чем в стеблях. К концу 2-го пассажа в листьях оно увеличилось несущественно, а в стеблях возросло почти 5-кратно, также отмечалось высокое содержание флавоноидов в бутонах. В конце 3-го пассажа произошло достоверное снижение содержания в листьях (на 16 %) и недостоверное повышение – в стеблях (на 5 %); в венчике содержание флавоноидов достоверно не отличалось от показателей в стеблях, а в чашечке хоть и заметно уступало содержанию в листьях (на 25 %), но значительно превосходило содержание в стеблях и венчике (на 70 и 85 % соответственно).



(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 2.2.1 – Внешний вид асептических растений *S. hortensis*:
(а– 0-й пассаж, б– 2-й пассаж, в– 3-й пассаж, г– побег асептического
растения 3-го пассажа с бутонами и цветками)

Высокое относительно содержания в стеблях содержание флавоноидов в бутонах растений 2-го пассажа можно объяснить накоплением флавоноидов в фотосинтезирующей части цветка – чашелистиках, а не в формирующемся венчике. Таким образом, накопление флавоноидов в асептических растениях *S. hortensis* происходит преимущественно в листьях,

бутонах и чашечке цветка; в стеблях и венчике цветка их накапливается значительно меньше. В процессе культивирования в течение трех пассажей накопление флавоноидов в листьях не изменилось. Органоспецифичность накопления флавоноидов, наблюдаемая нами у асептических растений *S. hortensis*, была отмечена многими исследователями для целого ряда видов (Bharati, Bansal, 2014; Valle del и др., 2015).

Таблица 2.2.1

Общее содержание флавоноидов в различных частях асептических растений *S. hortensis*

Растительный материал	Номер пассажа	Общее содержание флавоноидов, мг/г сырой массы
Лист	0	8,17 ± 1,07
Стебель	0	0,34 ± 0,04
Лист	1	8,20 ± 0,78
Стебель	1	0,93 ± 0,15
Лист	2	8,35 ± 0,17
Стебель	2	1,50 ± 0,22
Бутон	2	7,55 ± 0,29
Лист	3	7,02 ± 0,90
Стебель	3	1,58 ± 0,76
Венчик	3	0,78 ± 0,12
Чашечка	3	5,27 ± 0,28

Второй блок экспериментов касался изучения накопления флавоноидов в каллусной ткани. Для *индукции каллусогенеза* использовали семядоли и гипокотили проростков, которые помещали в чашки Петри со средой МС с добавлением 1 мг/л бензиламинопурина (БАП). Участки первичной каллусной ткани 0,3...0,5 см в диаметре пересаживали через 30...35 суток на среду того же минерального и гормонального состава и продолжали культивирование. Продолжительность последующих пассажей составляла 25...30 суток. Культивирование каллусной ткани осуществляли в условиях световой комнаты, указанных выше. Для анализа содержания общей суммы флавоноидов отбирали по три образца каллусной ткани из пяти чашек Петри в конце каждого пассажа.

Каллус формировался светло-зеленого цвета с небольшими желтыми участками, неоднородный по плотности – можно было выделить более рыхлые и более плотные участки, активно проходил стеблевой и корневой органогенез (рис. 2.2.2).

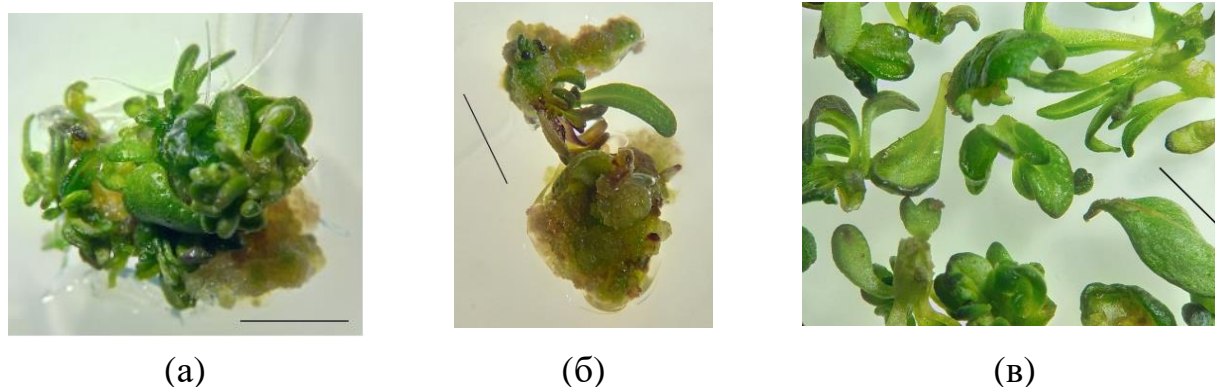


Рисунок 2.2.2 – **Внешний вид первичного каллуса и растений-регенерантов *S. hortensis*** (а – каллус из семядольных листьев, б – каллус из гипокотилей, в – растения-регенеранты. Бар – 0,5 см)

Через 2...3 недели культивирования эксплантов на участках каллусной ткани формировались меристематические очаги и в результате органогенеза образовывались небольшие побеги нормальной морфологии, витрифицированные тератомы и корни.

Содержание флавоноидов в первичном каллусе после 30 суток культивирования (0-й пассаж) было значительно ниже, чем в листьях и бутонах асептических растениях: в каллусе из семядольных листьев $0,50 \pm 0,09$ мг/г сырого веса, в каллусе на гипокотильных эксплантах $0,44 \pm 0,11$ мг/г сырого веса. Это может быть связано с необходимостью дифференцировки клеток для биосинтеза флавоноидов (Bharati, Bansal, 2014). В пользу этой гипотезы свидетельствуют данные содержания флавоноидов в растениях-регенерантах (анализировали совместно побеги нормальной морфологии и витрифицированные тератомы), сформировавшихся на первичном каллусе, – $1,26 \pm 0,21$ мг/г сырого веса.

Тип экспланта (семядольные листья или гипокотиль) не повлиял на накопление флавоноидов в формирующемся на нем первичном каллусе. Т.е.

в качестве эксплантов для получения каллусной культуры для синтеза флавоноидов можно использовать как семядольные листья, так и гипокотили.

Для дальнейшего эксперимента был выбран каллус, сформировавшийся на гипокотильных эксплантах, так как визуально нарастание ткани такого каллуса происходило активнее, чем на семядольных эксплантах. Участки первичной каллусной ткани культивировали на протяжении шести пассажей. Внешний вид и консистенция каллуса менялись незначительно, цвет ткани оставался зеленым, со светло-желтыми участками, по консистенции довольно плотный, легко раскалывался на мелкие агрегаты, органоге́неза не наблюдалось (рис. 2.2.3).

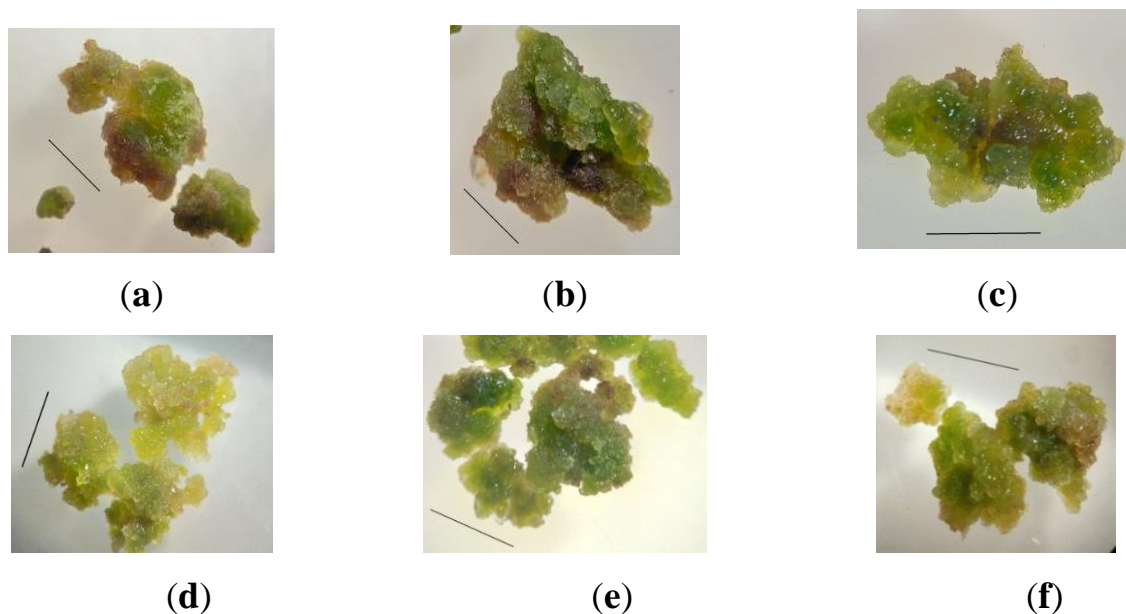


Рисунок 2.2.3 – Изменение внешнего вида каллусной ткани *S. hortensis* на протяжении шести пассажей. Бар – 0,5 см.

Данные о динамике накопления суммы флавоноидов в каллусной ткани на протяжении шести пассажей представлены на рис. 2.2.4.

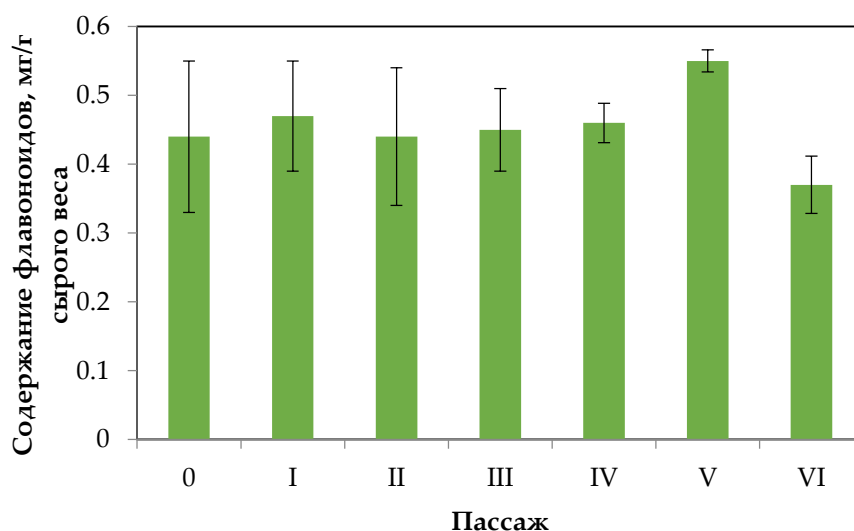


Рисунок 2.2.4 – Динамика накопления флавоноидов в каллусе *S. hortensis* на протяжении шести пассажей

Проанализировав данные рис. 2.2.4, можно сделать следующие выводы. Накопление флавоноидов в каллусной ткани протекает значительно менее интенсивно, чем в асептических растениях. Данная тенденция характерна для первичных каллусных тканей целого ряда видов, особенно в отсутствии элиситации (Bharati, Bansal, 2014). На протяжении шести пассажей не отмечались значительные отклонения уровня накопления флавоноидов от первичного каллуса (содержание не превышало 0,6 мг/г сырого веса). Небольшие колебания уровня накопления флавоноидов от пассажа к пассажию можно объяснить гетерогенностью каллусной ткани.

Еще один блок исследований – изучение влияния *монохромного света* на характеристики каллусной ткани и содержание флавоноидов. Для изучения влияния монохромного света чашки Петри с каллусной тканью помещали под световые режимы со следующими характеристиками: красный свет ($\lambda_{\max} = 660$ нм), зеленый свет ($\lambda_{\max} = 520$ нм), синий свет ($\lambda_{\max} = 460$ нм). Плотность потока фотонов во всех вариантах составляла 70 ± 10 % мкмоль/(с·м²).

Для эксперимента использовали каллус 4-го пассажа, полученный из гипокотильных эксплантов. Культивирование под зеленым светом приводило к формированию активно растущего мягкого, легко распадающегося на

мелкие агрегаты, водянистого каллуса от светло-желтого до зеленого цвета. В единичных случаях отмечался ризогенез – формировались тонкие корни 2...3 мм в длину (рис. 2.2.5а). Свет красного спектра способствовал росту зелено-желтого с небольшими коричневыми участками каллуса, более плотного по консистенции, чем под зеленым светом (рис. 2.2.5б). Культивирование под синими светодиодами приводило к росту каллусной ткани зелено-желтого цвета с небольшими красными вкраплениями, по консистенции каллус был немного водянистый, рыхлый – распадался на мелкие агрегаты, с достаточно плотными участками (рис. 2.2.5в).

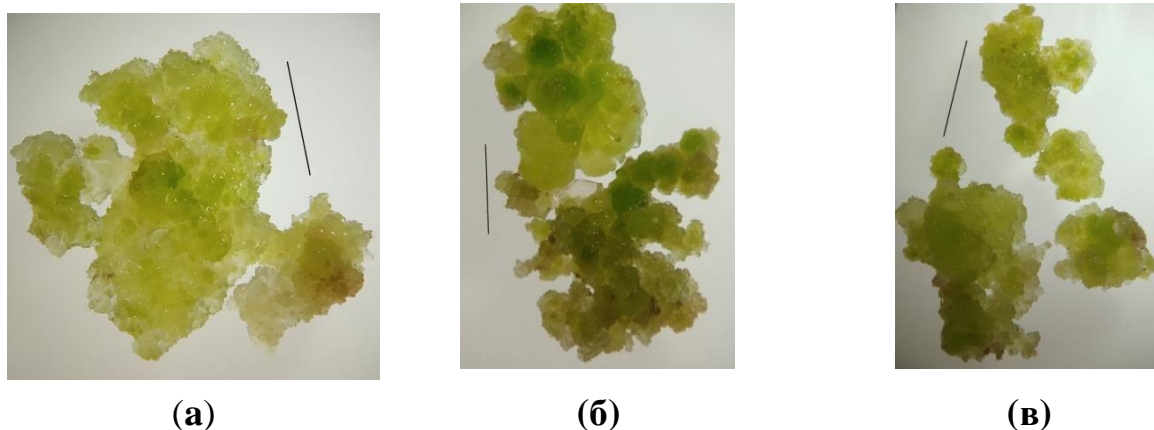


Рисунок 2.2.5 – Внешний вид каллусной ткани после культивирования под светодиодными лампами монохроматического спектра (а – зеленые светодиоды; б – красные светодиоды; в – синие светодиоды. Бар – 0,5 см.)

Культивирование на протяжении 5-го пассажа под светодиодными лампами монохроматического спектра не привело к значимым изменениям в накоплении флавоноидов (рис. 2.2.6).

Однако отмечались различия между некоторыми вариантами – под белым светом синтезировалось больше флавоноидов, чем под красным и зеленым. Обобщив полученные данные, можно сделать вывод, что внешний вид каллусной ткани при культивировании под монохромным светом светодиодов – синим, зеленым и красным – отличается не значительно, наиболее активно растущий каллус на зеленом свету отличается низким уровнем накопления флавоноидов, таким же, как и каллус под остальными

монохромными лампами. Таким образом, фактор условия освещения в выбранных режимах не повлиял на накопление флавоноидов в образцах каллусной ткани *S. hortensis*, несмотря на то, что по данным ряда исследователей культивирование асептических растений под монохромным освещением оказывало влияние на накопление флавоноидов (Bharati, Bansal, 2014). Это может быть связано с нарушением как генетического материала в клетке, так и с нарушениями его экспрессии, которые характерны для каллусной ткани как гетерогенной структуры (Bharati, Bansal, 2014).

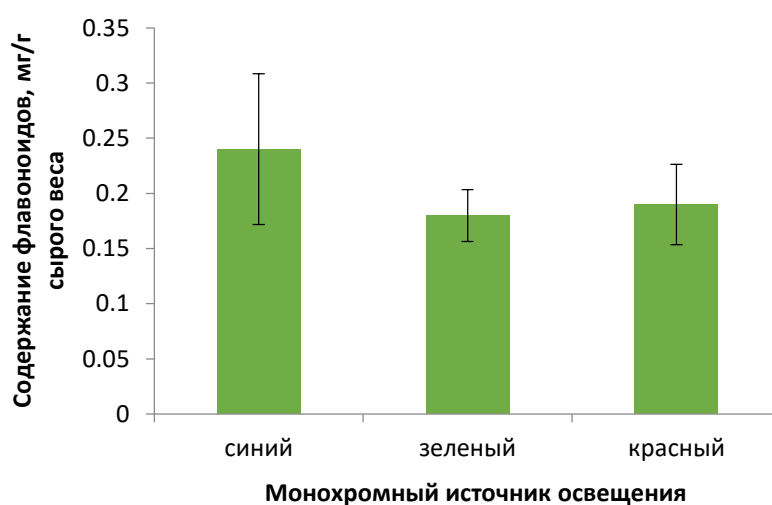


Рисунок 2.2.6 – Содержание флавоноидов в каллусной ткани 5-го пассажа при разных световых режимах культивирования

Ряд исследователей отмечают увеличение накопления флавоноидов при культивировании асептических растений и клеточных культур под синим светом (Li и др., 2018). Например, эта тенденция характерна для *Saccharina japonica* (J.E. Areschoug) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, *Saussurea medusa* Maxim. и *Lactuca sativa* L. (Deng и др., 2012; Li и др., 2018; Son, Oh, 2013; Zhao и др., 1999). В 2018 году Li et al. изучали влияние монохромного спектра светодиодов, а также фотопериода и интенсивности освещения на рост эмбрионного каллуса *Dimocarpus longan* Lour. Была отмечена следующая зависимость накопления флавоноидов от спектра светодиодных ламп – синий свет > зеленый свет > темнота > белый свет > красный свет (Li и др., 2018).

Таким образом показано, что в процессе культивирования асептические растения *S. hortensis* накапливают ценные вещества вторичного синтеза – флавоноиды. Установлено, что аккумуляция происходит преимущественно в листьях ($8,35 \pm 0,17$ мг/г сырого веса), бутонах ($7,55 \pm 0,29$ мг/г сырого веса) и чашечке цветка ($5,27 \pm 0,28$ мг/г сырого веса). Были отмечены колебания накопления флавоноидов в разных органах асептических растений *S. hortensis* на протяжении трех пассажей культивирования. Выявлено, что уровень накопления флавоноидов в полученной морфогенной каллусной ткани ($0,44 \pm 0,11$ мг/г сырого веса) и растениях-регенерантах ($1,26 \pm 0,21$ мг/г сырого веса), значительно ниже, чем в асептических растениях. Отмеченные незначительные колебания уровня накопления флавоноидов в каллусе на протяжении шести пассажей могут быть связаны с генетической и морфологической гетерогенностью каллусной ткани. Культивирование каллуса под монохромным освещением повлияло на морфологические особенности, но не приводило к значительному изменению в накоплении флавоноидов. Отмечено, что в образцах каллуса под белыми светодиодными лампами ($0,43 \pm 0,13$ мг/г сырого веса) накапливалось флавоноидов больше, чем под красными ($0,19 \pm 0,04$ мг/г сырого веса) и зелеными ($0,18 \pm 0,03$ мг/г сырого веса).

2.3 ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КУЛЬТИВИРОВАНИЕ АЛЬТЕРНАНТЕРЫ РАЙНЕКА (*ALTERNANTHERA REINECKII* BRIQ.) *IN VITRO* И *EX VITRO*

Акваскейпинг (раздел аквариумистики) – искусство создания подводных пейзажей в условиях замкнутой экосистемы аквариума. Зародившись как хобби акваскейпинг в настоящее время находит все более широкое применение в фитодизайне рабочих и жилых помещений, развивая теорию биофилии. Для создания невероятных подводных композиций

используются растения тропического и субтропического пояса, для которых характерна яркая окраска и причудливые формы. Научной основой, позволяющей формировать замкнутые фитобиоценозы, служит анатомия, физиология и биохимия растений, а для получения большого количества оздоровленного посадочного материала используют методы биотехнологии растения, микроразмножение или культуру тканей растений. В связи с этим возникает необходимость изучения особенностей роста и развития популярных аквариумных растений как в условиях *in vitro*, так и *ex vitro*, с целью разработки ускоренных технологий размножения посадочного материала и формирования рекомендаций для дизайнеров-аквариумистов по размещению различных по требовательности к освещению, питательным веществам или другим факторам культивирования растений в одном фитобиоценозе. Тропические растения, накапливающие красные пигменты – антоцианы или беталаины, являются популярными объектами подводных пейзажей, часто выполняя роль точек фокусировки. Одним из таких растений является травянистый представитель семейства *Amaranthaceae* Juss. - *Alternanthera reineckii* Briq. Этот вид из рода *Alternanthera* Forssk. произрастает во влажных лесах Южной и Центральной Америк. Максимально в высоту растение может достигать 50 см (McCauley, Ballard, 2007). Сверху листья темно-зеленого или коричневого цвета, а вот окраска нижней части листьев может варьировать от ярко-красного до светло-розового цвета (Mears, 1978). Стебель альтернантеры круглый, относительно массивный, прямостоячий, короткий, корневая система нежная. Листья располагаются супротивно. Цветы маленькие, образуются на побегах, которые находятся над водой в пазухах (Escribano и др., 1998; Gandia-Herrero и др., 2016; Souza de и др., 1998). Для *A. reineckii* характерны невысокие темпы роста и нестабильность окраски листьев в зависимости от изменения физических факторов среды, что создает некоторые трудности при ее размножении и использовании в аквариумах.

Для экспериментов на кафедре биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева использовали микрорастения альтернантеры Райнека от компании «Tropica».

Для изучения влияния минерального состава питательной среды черенки 1-месячных асептических растений (по 1 узлу, длина 1 см) помещали на питательные среды: Мурасиге и Скуга (МС), Гамборга (B5), Кворина-Лепуавра (QL), Woody Plant Medium (WPM), которые различаются, прежде всего, содержанием и соотношением аммонийной и нитратной форм азота. Повторность опыта 20-кратная. Учет морфологических параметров проводили в течение 2 месяцев (табл. 2.3.1).

Таблица 2.3.1

Морфометрические показатели асептических растений *A. reineckii* на различных питательных средах

Питательная среда	Высота главного побега, мм		Количество побегов на 1 растение	
	2-я неделя	6-я неделя	2-я неделя	6-я неделя
B5	1,5 ± 0,5	1,8 ± 1,1	1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,3
MS	11,3 ± 0,6	35,7 ± 2,2	1,2 ± 0,3	2,3 ± 0,6
QL	4,3 ± 1,4	14,4 ± 6,4	1,2 ± 0,3	1,8 ± 0,7
WPM	11,4 ± 1,3	35,1 ± 3,4	1,3 ± 0,3	2,1 ± 0,5

Резюмируя полученные результаты, следует отметить, что питательные среды МС и WPM похожим образом влияют на рост *A. reineckii*. А на питательных средах B5 и QL рост растения сильно замедлен. Нужно отметить, что на количество побегов растений *A. reineckii* состав используемых питательных сред оказывает слабое влияние.

При дальнейшем культивировании растений выяснилось, что *A. reineckii*, растущая на питательных средах МС и WPM, продолжает показывать стабильно высокую динамику роста. Но растения, растущие на питательной среде WPM более 6 недель, сильно ослабли, приобрели бледно-розовую окраску, что недопустимо для *A. reineckii*, т.к., в первую очередь, альтернантера является украшением аквариумов и ее внешний вид очень

важен. Нужно отметить, что более 50 % растений, посаженных на среду В5, погибли. Выжившие растения развивались очень медленно. Таким образом, наиболее активно асептические растения *A. reineckii* развивались на питательной среде МС. В дальнейших экспериментах использовали эту питательную среду.

Для изучения влияния *кислотности питательной среды* использовали черенки 1-месячных асептических растений (по 1 узлу, длина 1 см). Растения помещали на безгормональную питательную среду МС с различной кислотностью (рН): 5, 6, 7 и 8. Повторность опыта 20-кратная. Учет морфологических параметров проводили спустя 2 месяца (рис. 2.3.2).

Как видно на рис. 2.3.2, растения на среде с рН 6 превосходили по длине побега варианты с рН 7 и 8, а отличие от среды с рН 5 было несущественным.

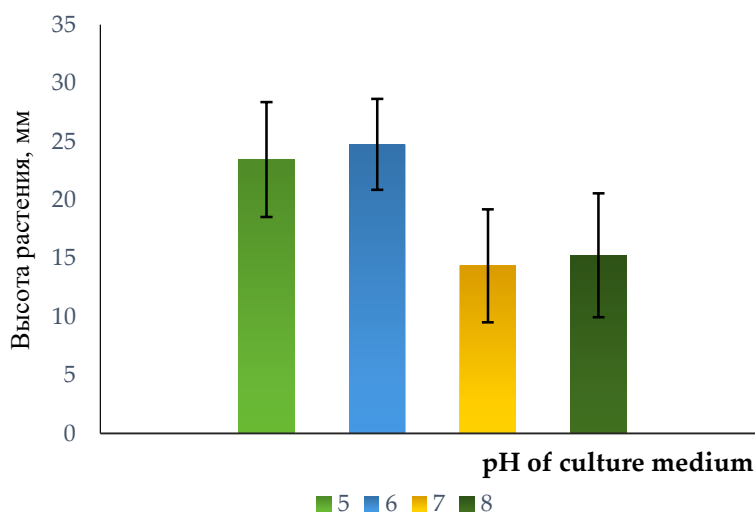


Рисунок 2.3.2 – Высота асептических растений *A. reineckii* на питательной среде МС с различной кислотностью

В табл. 2.3.2 представлена зависимость окраски растений (визуальная оценка) от рН среды.

Из приведенных данных можно сделать предварительный вывод о преимуществе использования питательных сред с рН 5 или 6.

Визуальная оценка асептических растений *A. reineckii* при культивировании на питательной среде МС с различной кислотностью

Значение рН	Окраска верхней поверхности листа	Окраска нижней поверхности листа
5,0	бордово-болотная	светло-бордовая
6,0	темно-зеленая	бордовая
7,0	зелено-розовая	розовая
8,0	болотно-розовая	бледно-розовая

Свет – один из самых важных факторов, который регулирует процессы роста и развития растений. В природных условиях растения получают необходимое количество света естественным путем. Каждый вид имеет различную потребность в освещении. Густая растительность верхних ярусов леса не пропускает свет под свой полог, поэтому растения тропических лесов должны либо адаптироваться к жизни в постоянных сумерках, либо быстро расти вверх для того, чтобы «увидеть» солнце. Тропические растения в аквариумистике как правило требовательны к продолжительности светового дня. Она должна составлять не менее 12 часов. Для изучения влияния *продолжительности фотопериода* черенки 1-месячных асептических растений (по 1 узлу, длина 1 см) помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (МС) на разные световые режимы: 16/8, 14/10, 12/12; под разные лампы: светодиодные и люминесцентные лампы с интенсивностью 2500 лк, плотность потока фотонов 22 ± 2.2 мкмоль/(с·м²), 4000К (производитель ‘OSRAM’, Смоленск, Россия). Биологическая повторность 6-10-кратная. Аналитическая повторность 6-8-кратная. Учёт морфологических показателей проводили на 14-е и 42-е сутки культивирования (табл. 2.3.3).

Согласно данным табл. 2.3.3, сокращение светового дня с 16 до 12 часов при культивировании под люминесцентными лампами приводит снижению интенсивности роста в период с 2-й по 6-ю неделю, а при культивировании под LED-лампами увеличивает интенсивность роста асептических растений *A. reineckii*. На внешний вид асептических растений

A. reineckii продолжительность фотопериода не оказала такого сильного влияния, как минеральный состав питательной среды или кислотность питательной среды (табл. 2.3.4).

Таблица 2.3.3

Высота асептических растений *A. Reineckii* при культивировании под флуоресцентным и светодиодным освещением

Тип источника освещения	Фотопериод, ч (свет / темнота)	Высота главного побега, мм		Прирост высоты главного побега	
		2-я неделя	6-я неделя	мм	%
Люминесцентные лампы	16/8	12,9 ± 2,2	29,2 ± 2,7	16,34	127,1
	14/10	14,1 ± 3,7	31,4 ± 5,6	17,29	122,2
	12/12	14,2 ± 2,9	22,0 ± 6,1	7,80	54,93
LED	16/8	14,6 ± 2,6	23,4 ± 5,6	8,53	57,41
	14/10	16,6 ± 4,7	27,6 ± 8,4	11,00	66,27
	12/12	15,3 ± 2,3	29,7 ± 4,0	14,38	94,08

Таблица 2.3.4

Визуальная оценка асептических растений *A. reineckii* при культивировании под люминесцентными и светодиодными лампами

Тип источника освещения	Фотопериод, ч (свет / темнота)	Окраска верхней поверхности листа	Окраска нижней поверхности листа
Люминесцентные лампы	16/8	темно-зеленая	бордовая
	14/10	бордово-болотная	бордовая
	12/12	болотная	бордовая
LED	16/8	болотно-бордовая	бордовая
	14/10	зеленая	бордовая
	12/12	бордово-болотная	темно-бордовая

Так как в условиях *in vitro* альтернантера растет крайне медленно, была изучена динамика роста в условиях *ex vitro* в аэропонной установке. Для изучения эффективности роста *ex vitro* растений в аэропонной установке черенки 1-месячных асептических растений (по 1 узлу, длина 1 см) помещали

в аэропонную установку (GrowPlant 120 site). Питательный раствор включал в себя жидкие комплексные удобрения ФлораГро (FloraGro), ФлораМикро (FloraMicro) и ФлораБлум (FloraBloom). pH 5,8...6,2. Черенки растений помещали в неопреновые шайбы, затем шайбы с растением переносили в аэропонную установку. Оценку морфометрических показателей проводили на 1-е и 28-е сутки культивирования (табл. 2.3.5).

Таблица 2.3.5

Морфометрические показатели растений *A. reineckii* *in vitro* и *ex vitro*

Растительный материал	Высота главного побега, мм		Длина корня, мм	
	1-е сутки	28-е сутки	1-е сутки	28-е сутки
<i>in vitro</i>	67,2 ± 14,4	72,9 ± 14,7	42,5 ± 7,4	74,0 ± 13,5
<i>ex vitro</i>	64,8 ± 14,0	97,4 ± 9,6	41,1 ± 7,8	148,2 ± 12,8

По данным, представленным в табл. 2.3.5, наблюдаются существенные различия между изучаемыми вариантами. После 28 суток культивирования у растительного материала в культуре *in vitro* значительно ниже прирост побега и корней по сравнению с растениями, растущими *ex vitro*. Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что растения *A. reineckii* растут значительно быстрее на аэропонных установках, чем в культуральных сосудах в условиях *in vitro*.

Для изучения влияния *спектрального состава света* на рост растений черенки помещали в аэропонные установки GrowPlant 120 site с комплексным питательным раствором с использованием светодиодных ламп с сочетанием красного и синего света: (1) с преобладанием красного с длиной волны 623 нм (синий свет 452 нм), (2) с преобладанием красного с длиной волны 653 нм (синий свет 453 нм), (3) с преобладанием красного с длиной волны 647 нм (синий свет 456 нм). Оценку морфометрических показателей проводили на 1-е и 21-е сутки культивирования (табл. 2.3.6).

Морфометрические показатели растений *A. reineckii* в аэропонной системе при различном спектральном составе света

Спектральный состав света	Высота главного побега, мм		Длина корня, мм	
	1-е сутки	21-е сутки	1-е сутки	21-е сутки
K ₆₂₃ , C ₄₅₂	40,5 ± 4,4	78,6 ± 19,0	35,0 ± 3,2	88,5 ± 10,7
K ₆₅₃ , C ₄₅₃	39,6 ± 4,6	65,3 ± 18,9	37,0 ± 4,3	95,0 ± 13,8
K ₆₄₇ , C ₄₅₆	39,9 ± 3,9	72,0 ± 17,1	36,0 ± 3,7	75,3 ± 18,8

Результаты, представленные в табл. 2.3.6, показывают, что между вариантами сочетания красного и синего света: (1) K₆₂₃, C₄₅₂, (2) K₆₅₃, C₄₅₃ и (3) K₆₄₇, C₄₅₆ – отсутствуют существенные различия по скорости роста побега и корней. За 3 недели высота побега увеличивалась в среднем на 32 мм (менее чем вдвое: 94,1 %, 64,9 и 80,5 % соответственно), а длина корней – в среднем на 33,6 мм. При этом на вариантах 1 и 2 прирост корней составил 152,9 % и 156,8 % соответственно. Исходя из результатов опыта, нельзя сделать однозначный вывод о превосходстве какого-либо из вариантов спектрального состава света.

Таким образом, показано, что интенсивность роста асептических растений *A. reineckii* и окраска верхней и нижней поверхностей листьев зависит от минерального состава и активной кислотности питательной среды. Формирование характерной окраски с темно-зеленой верхней поверхностью листа и темно-красной нижней поверхностью отмечалось на среде МС с рН 5 и 6. Культивирование на средах В5, QL и WPM, а также на среде МС с рН 7.0 и 8.0 приводит к формированию нехарактерной окраски (бледно-розовой) и менее активному росту. Сокращение светового дня с 16 до 12 часов при культивировании под люминесцентными лампами приводит к снижению интенсивности роста в период с 2-й по 6-ю неделю, а при культивировании под LED лампами увеличивает интенсивность роста асептических растений *A. reineckii*. Культивирование *ex vitro* в аэропонной установке способствует более быстрому росту как побеговой, так и корневой систем по сравнению с

культурой *in vitro*. Использование в качестве освещения в аэропонной системе светодиодных ламп с диодами синей и красной частей спектра различных максимумов поглощения не приводит к различиям в росте побеговой и корневой систем.

2.4. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЗЕЛЁНОГО СИНТЕЗА, ОЦЕНКА ИХ СВОЙСТВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Нанотехнологии продолжают развиваться и предлагают новые решения в различных секторах экономики, в том числе и в сельском хозяйстве. Расширяются не только области применения наночастиц, но и совершенствуются технологии их получения. Они становятся более экологичными, экономически эффективными и универсальными. «Зелёный» синтез – технология получения наночастиц с привлечением живых организмов, таких как растения, грибы, бактерии. Использование растительных экстрактов для получения разнообразных по химическому составу, форме и размеру наночастиц является наиболее популярным приложением данной технологии. Это связано с доступностью и повсеместной распространённостью растений. Все растения содержат многообразные вторичные метаболиты, прежде всего фенольные соединения, которые могут восстанавливать ионы металлов с последующим формированием наночастиц. Кроме фенольных соединений растительные экстракты содержат сахара, аминокислоты и другие вещества, обладающие восстанавливающей активностью. Растительные метаболиты способны не только восстанавливать, но и стабилизировать полученные наночастицы в растворе.

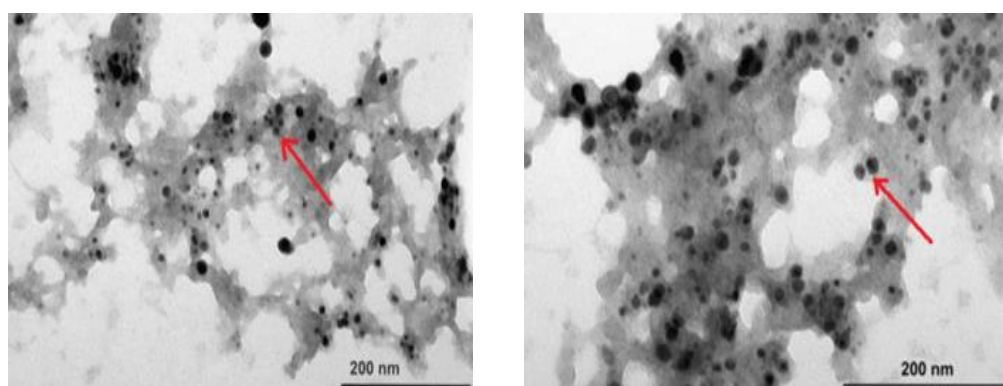
Таким образом, «зелёный» синтез демонстрирует преимущества перед физико-химическими методами получения наночастиц, так как исключает

использование токсичных химических веществ и физических факторов, несущих риски для человека и окружающей среды. Экологичность «зелёного» синтеза также связана с тем, что для получения экстрактов могут быть использованы растительные отходы и продукты переработки растений, что делает технологию широкодоступной, недорогой и легко масштабируемой.

Наночастицы серебра могут быть получены с помощью «зелёного» синтеза наиболее легко. При этом серебро в наноформе широко используется как противомикробный агент. Применение наночастиц серебра в качестве антибактериальных средств в медицине и сельском хозяйстве позволяет сократить использование антибиотиков, избежать появления и ограничить распространение штаммов, устойчивых к антибиотикам. Существуют различные теории действия наночастиц серебра на бактериальные клетки, вызывающие антимицробный эффект. Наночастицы серебра могут изменять структуру мембран бактериальных клеток, проникая через клеточные стенки. Их большое отношение площади поверхности к объёму делает их более эффективными. Другой механизм гибели клеток включает образование свободных радикалов наночастицами серебра. Свободные радикалы повреждают клеточную мембрану, что может привести к гибели клеток (Feng и др., 2000).

Для получения наночастиц серебра в соответствии с технологией «зелёного» синтеза были использованы водные экстракты из растений и каллуса *Agastache foeniculum*. *A. foeniculum* — лекарственное растение из семейства Lamiaceae, содержащее широкий спектр вторичных метаболитов, таких как фенилпропаноиды, терпеноиды, фенольные кислоты, флавоноиды, лигнаны (Zielińska, Matkowski, 2014). Многообразие и высокий уровень вторичных метаболитов обусловили выбор *A. foeniculum* в качестве источника экстракта для синтеза наночастиц серебра. Была произведена оценка содержания суммы фенольных соединений в экстрактах из растений и каллуса *A. foeniculum*. Так, в экстракте из каллуса содержалось больше

фенольных соединений, чем в экстракте из растений ($1,97 \pm 0,06$ и $1,14 \pm 0,08$ соответственно). Предположительно суммарное содержание веществ с антиоксидантной активностью, таких как фенольные соединения, влияет на морфологию и размер наночастиц при синтезе. Средний диаметр частиц, полученных из растительного экстракта с концентрацией AgNO_3 100 мМ, составил $19,81 \pm 5,32$ нм. Средний диаметр частиц, синтезированных на основе экстракта каллуса с концентрацией AgNO_3 100 мМ, составил $9,51 \pm 1,55$ нм (рис. 2.4.1).



*Рисунок 2.4.1 – Микрофотографии наночастиц серебра, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) (А – для синтеза использовался экстракт из растений *A. Foeniculum* и раствор AgNO_3 с концентрацией 100 мМ; В – для синтеза использовался экстракт из каллуса *A. Foeniculum* и раствор AgNO_3 с концентрацией 100 мМ (Polivanova и др., 2021)*

После синтеза и определения физико-химических характеристик наночастиц с помощью УФ-спектрофотометрии и ПЭМ была произведена оценка их антибактериальной активности методом разведения. Для определения минимальной ингибирующей концентрации наночастиц серебра использовали клинические изоляты штаммов бактерий, вызывающих различные внутрибольничные инфекции. Многие из этих штаммов отличаются высокой устойчивостью к антибиотикам, что требует альтернативных способов борьбы с ними. Результаты определения

минимальной ингибирующей концентрации при воздействии наночастиц на данные штаммы представлены в табл. 2.4.1.

Таблица 2.4.1

Минимальная ингибирующая концентрация экстрактов из растений и каллуса *A. Foeniculum* и полученных на их основе наночастиц

Штамм	Минимальная ингибирующая концентрация, мг/л			
	Экстракт из растений		Экстракт из каллуса	
	Без наночастиц Ag	С наночастицами Ag	Без наночастиц Ag	С наночастицами Ag
<i>Staphylococcus aureus</i> , штамм Z 73-14	>100.00	6.25	>100.00	6.25
<i>Staphylococcus haemolyticus</i> , штамм F 1059-16	>100.00	6.25	>100.00	6.25
<i>Klebsiella pneumoniae</i> , штамм Ts 45-16	>100.00	6.25	>100.00	12.50
<i>Acinetobacter baumannii</i> , штамм Ts 50-16	Отсутствие нормального роста микроорганизмов в заданных экспериментальных условиях			
<i>Streptococcus pneumoniae</i> , штамм R 363-17	>100.00	25.00	>100.00	12.50

Минимальная ингибирующая концентрация для препаратов наночастиц на основе растительных и каллусных экстрактов составила 6,25...25,00 мг/л для всех испытуемых штаммов, за исключением *Acinetobacter baumannii*, для которого условия культивирования оказались неподходящими. Исходные водные экстракты растений и каллуса не проявляли антибактериальной активности.

В заключение, данное исследование подтверждает эффективность наночастиц серебра, полученных в соответствии с технологией «зелёного» синтеза, в качестве антимикробных агентов против внутрибольничных бактериальных инфекций с множественной устойчивостью к антибиотикам. Показана также возможность получения наночастиц с использованием

экстракта каллуса, содержащего больше фенольных соединений (Polivanova и др., 2021).

«Зелёный» синтез может быть использован не только для получения металлических частиц, таких как серебро, но и для получения наночастиц оксидов металлов. Так, на основе водного экстракта *Petroselinum crispum* нами были получены наночастицы оксида цинка, церия, железа и кобальта (Korotkova и др., 2019). Полученные наночастицы были охарактеризованы при помощи ПЭМ и УФ-спектрофотометрии. ПЭМ-визуализация продемонстрировала, что порошки наночастиц существенно отличаются по форме, размеру и морфологии (рис. 2.4.2).

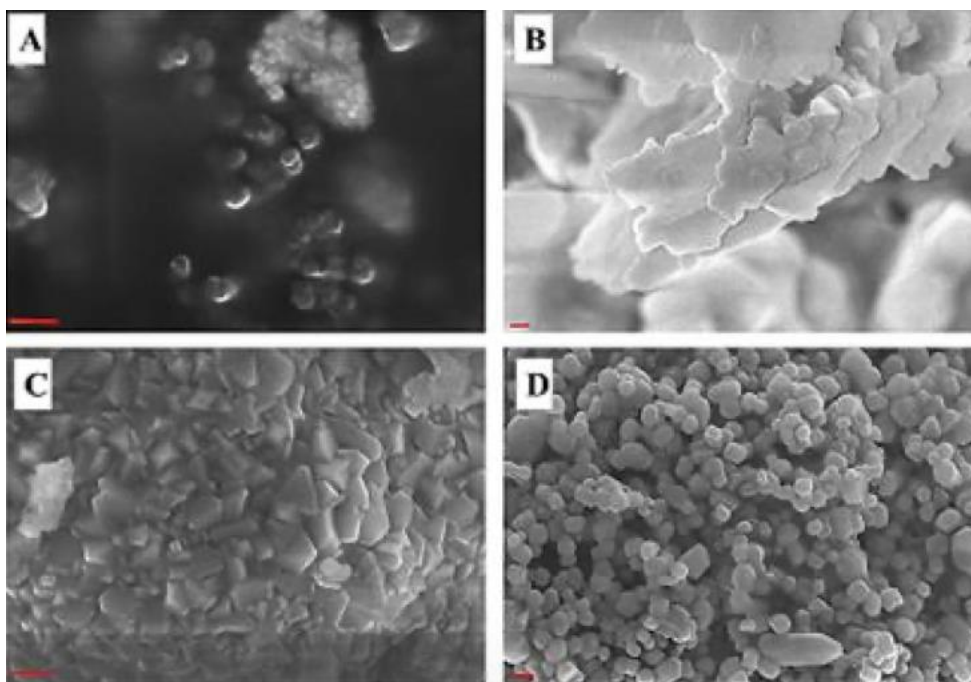


Рисунок 2.4.2 – Микрофотографии наночастиц оксидов металлов, полученных при помощи экстракта *P. Crispum*. (A – наночастицы оксида церия; B – наночастицы оксида железа; C – наночастицы оксида кобальта; D – наночастицы оксида цинка (Korotkova и др., 2019).

ПЭМ-визуализация порошков CeO_2 выявила высокую неоднородность частиц (рис. 2.4.2A), диапазон размеров частиц от 14 нм до относительно крупных частиц (более 500 нм), состоящих из более мелких, скрепленных друг с другом. Наночастицы Fe_2O_3 имели пластинчатую структуру (длиной более 80 нм), как наномасштабную, так и микромасштабную (рис. 2.4.2B), а

наночастицы Co_3O_4 представляли собой мелкие кубические частицы с острыми краями диаметром от 20 до 100 нм, слипшиеся в крупные агрегаты (~ 1 мкм) (рис. 2.4.2С). Наночастицы ZnO характеризовались сферической, овальной и гексагональной структурой с размером частиц от 60 до 160 нм (рис. 2.4.2D).

Была изучена цитотоксичность полученных наночастиц. Анализ цитотоксичности порошков наночастиц проводили путем подсчета погибших клеток в корнях *Triticum vulgare*, окрашенных витальным красителем Эванса синим, после 14-дневного воздействия препарата в широком диапазоне концентраций (от 10^{-1} до 10^{-5} М). Результаты показали дозозависимое увеличение гибели клеток в большей степени на верхушке корня по сравнению с базальной областью. Заметное (более чем на 50 %) снижение жизнеспособности клеток было зафиксировано при обработке растений Fe_2O_3 (более 80 %), 10^{-1} М CeO_2 (84,7 %), 10^{-1} и 10^{-2} М Co_3O_4 (65 и 70 % соответственно). Однако после обработки ZnO и CeO_2 в разведениях от 10^{-4} до 10^{-5} М наблюдалось небольшое увеличение жизнеспособных клеток (на 8 % по сравнению с интактными образцами). В целом жизнеспособность клеток корней проростков *T. vulgare* после воздействия биосинтезированных наноматериалов повышалась следующим образом: $\text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{Co}_3\text{O}_4 < \text{CeO}_2 < \text{ZnO}$ (Korotkova и др., 2019).

Различие в проявлении биологических эффектов наноматериалов, использованных в данном эксперименте, может быть связано с характером поверхности частиц в зависимости от способа синтеза. Так, выраженный цитотоксический эффект Fe_2O_3 и Co_3O_4 может быть связан с формой частиц, так как частицы полигональной, кубической или пластинчатой формы имеют острые края и могут вызывать механическое повреждение клеток.

Также была произведена сравнительная оценка антимикробной активности наночастиц Co_3O_4 и CeO_2 , полученных с использованием экстракта *P. crispum*. Для оценки бактерицидной активности наночастиц использовали рекомбинантный штамм на основе родительских клеток

Salmonella typhimurium LT2, трансформированных плазмидами pACXen (векторы содержат гены luxCDABE светящейся бактерии *Photobacterium luminescens*). Для оценки бактерицидного действия использовали метод серийных разведений с последующим измерением плотности и динамики гибели микроорганизмов.

По результатам теста биосинтезированный нано-CeO₂ продемонстрировал выраженный антибактериальный эффект во всем диапазоне используемых концентраций, особенно при концентрациях более 0,03 М. Так, за 60 минут и 120 минут воздействия препарата в концентрации 1 М доля живых клеток снижалась на 51,5 и 74 % по сравнению с контролем соответственно. По мере снижения концентрации доля живых клеток постепенно увеличивалась, но даже при минимальном разведении (0,0019 М) сохранялся цитотоксический эффект.

Менее выраженный антибактериальный эффект проявляли препараты Co₃O₄, подавлявшие рост культуры в среде на 62,4 % по сравнению с контролем после 60-минутной экспозиции в максимальной концентрации (1 М). После 2-часовой инкубации Co₃O₄ с клетками микроорганизмов доля живых клеток продолжала снижаться на 30 %, при этом 50 %-й барьер по количеству живых клеток (LC50) наблюдался только при концентрациях 0,03 М, а при концентрациях более чем 0,06 М препараты оказывали выраженное токсическое действие на тест-культуру (Korotkova и др., 2019).

Полученные результаты наглядно показывают, что различия физико-химических параметров (размер, форма, концентрация) исследуемых наночастиц играют большую роль в реализации их антимикробного действия.

«Зелёный» синтез также позволяет получать и биметаллические оксиды металлов. С применением технологии «зелёного синтеза» нами были получены и охарактеризованы наночастицы ферритов кобальта и цинка. Наночастицы феррита цинка (ZnFe₂O₄) широко применяются в биомедицине и обладают значительным потенциалом применения в других областях.

Наночастицы $ZnFe_2O_4$ были синтезированы с использованием экстракта *P. crispum*, но условия синтеза несколько отличались – в первом случае синтез производился в кислой среде, а во втором – в щелочной. Микрофотографии нанопорошков, полученные при помощи ПЭМ, показали, что среда синтеза также влияет на морфологию и размер биметаллических порошков $ZnFe_2O_4$ (рис. 2.4.3). Препарат, синтезированный в слабокислой среде (pH=2), состоял из зернистых частиц размером ~250–400 нм, которые содержали более мелкие частицы диаметром ~50 нм (рис. 2.4.3А). Нанопорошки, полученные в щелочной среде, имеют пластинчатую структуру и также образуют агрегаты (рис. 2.4.3В).

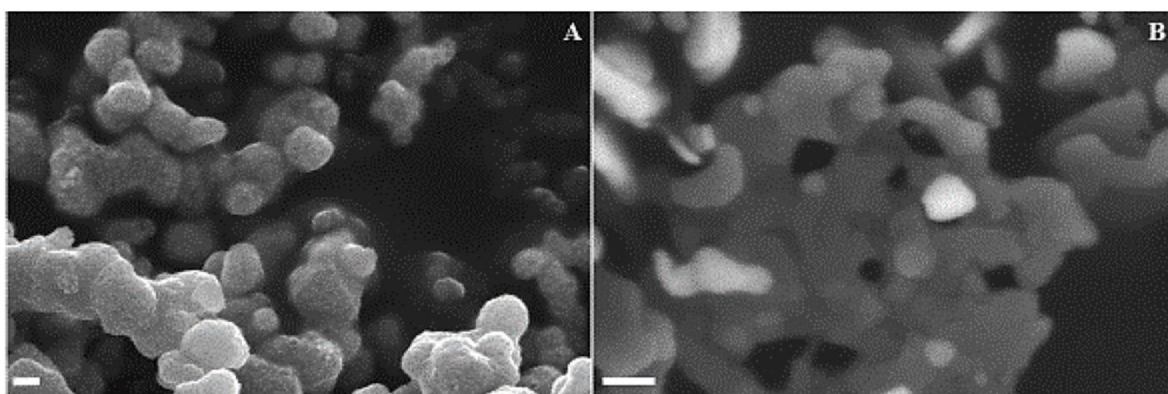


Рисунок 2.4.3 – Микрофотографии нанопорошков $ZnFe_2O_4$, синтезированных в водном экстракте листьев *P. crispum*: (А – синтез при pH=2, В – синтез при pH≥9, бар – 100 нм (Korotkova и др., 2019)

Анализ биологической активности синтезированных частиц на проростках *T. vulgare* показал разницу в скорости прорастания семян в зависимости как от концентрации препаратов, так и от среды синтеза. Порошки, синтезированные в кислой среде (pH=2) во всем диапазоне концентраций, значительно снижали всхожесть семян по сравнению с интактными образцами. Достоверное ингибирование зафиксировано при минимальных концентрациях 10^{-3} и 10^{-4} М на 100 % и 47 % относительно контроля соответственно ($P \leq 0,05$). В то же время $ZnFe_2O_4$, синтезированный в щелочной среде, снижал скорость прорастания в меньшей степени: при

концентрациях 10^{-3} и 10^{-4} М – до 7,3 и 22,8 %. При этом при минимальной концентрации 10^{-5} М всхожесть стимулировалась незначительно, до 19,3 %.

Анализ ферментативной активности редуктаз при накоплении формазана в клетках корней *T. vulgare* через 7 и 14 суток воздействия $ZnFe_2O_4$ выявили более высокую устойчивость опытных растений к нанопорошкам, синтезированным в кислой среде. Частицы, синтезированные в кислой среде в концентрациях от 10^{-1} до 10^{-5} М, на 7-е и 14-е сутки снижали показатель до 71,5 и 77 % по сравнению с контролем соответственно (Korotkova и др., 2019).

3. ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

3.1. СЕЛЕКЦИЯ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ В РГАУ–МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА: ИСТОРИЯ, ОСОБЕННОСТИ, ДОСТИЖЕНИЯ

Тритикале (*×Triticosecale* Wittm.) – новая в эволюционном отношении культура, представляющая собой искусственно созданный аллополиплоид от скрещивания пшеницы с рожью. Высокая урожайность, пластичность, устойчивость к неблагоприятным факторам среды и грибным болезням определяет интерес исследователей к этой культуре для решения проблемы обеспечения производства зерна и фуража, в частности для Центрального региона Нечерноземной зоны (Аболова и др., 2010; Нгуен и др., 2011; Mergoum, 2004; Moś, 2003). Считается, что самым дешевым средством повышения урожайности является внедрение новых высокопродуктивных сортов, обладающих определенными хозяйственно-ценными свойствами, позволяющими использовать их на конкретные цели. В настоящее время основными направлениями использования тритикале являются зернокармное (хлебопекарное, кондитерское, комбикормовое), бродильное, на зеленый корм, на сенаж в сочетании с зернобобовыми культурами (Копусь и др., 2010; Рубец и др., 2013; Шубина, Немцова, 2010; Mergoum и др., 2009; Skovmand и др., 1984).

Однако имеющиеся сорта гексаплоидной тритикале не лишены недостатков. Наиболее существенными из них являются низкое содержание и качество клейковины; способность к активному предуборочному прорастанию зерна в колосе, обусловленная повышенной активностью амилолитических ферментов, приводящей к деградации крахмала, плохой выполненности эндосперма, морщинистости зерна, низким хлебопекарным качествам, потере всхожести семян; наличие тесной положительной корреляции между высотой растений и их продуктивностью, следствием чего

является склонность к полеганию; слабая устойчивость к поражению низкотемпературными грибами из рода *Fusarium*, вызывающими массовую гибель растений от снежной плесени при длительном пребывании под снегом (Беркутова, Буко, 1982; Гриб, 2010; Moś, 2003). Одной из проблем является недостаточная изученность биологии цветения современных сортов тритикале, затрудняющая ведение селекционного и семеноводческого процесса (Комаров, Соколенко, 2000).

Стремление к изучению указанных проблем с целью создания сорта озимой гексаплоидной тритикале для условий ЦРНЗ явилось причиной развертывания селекционной работы в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с этой перспективной культурой.

Работа с озимой тритикале в МСХА началась в конце 90-х гг. прошлого столетия с экологического сортоиспытания селекционных образцов, созданных в других учреждениях (РУДН, Одесский СХИ, НИИСХ Северо-Запада). Вследствие популярности изучаемых сортообразцов нами был использован метод внутрисортных отборов. Результатом этой работы было создание сортов Александр (совместно с РУДН им. П. Лумумбы), Никлап (совместно с НИИСХ Северо-Запада), Валентин (совместно с Одесским СХИ). Сорт Александр в 2010 г. включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию.

В 2003 г. был проведен посев коллекции сортообразцов различного происхождения с целью их изучения и размножения. Сортообразцы были получены из разных учреждений (большая часть – из ВНИИР имени Н.И. Вавилова). Однако количество семян было очень небольшим, и они были получены в разные годы. Для дальнейшей работы с таким материалом требовалось провести уравнительный посев и получить достаточное количество семян. В последующие годы проводилось планомерное изучение этих и вновь получаемых образцов. Прежде всего обращалось внимание на хозяйственно-полезные признаки (урожайность, высота растения, устойчивость к полеганию и основным болезням, устойчивость к

предуборочному прорастанию зерна в колосе, физические и технологические свойства зерна и др.). Кроме этого, изучался ряд биологических особенностей растений, влияющих на формирование хозяйственно–полезных признаков. В результате изучения коллекции были выделены сортообразцы, впоследствии включенные в скрещивания.

Прежде всего следовало определить направление использования будущих сортов и разработать модель сорта для Нечерноземной зоны. Было решено вести селекцию сортов зернового направления для использования в комбикормовой промышленности, бродильном производстве и для хлебопечения. Предполагаемые направления использования предъявляют неодинаковые требования к биохимическим свойствам зерна (сорт, предназначенный для комбикормов и хлебопечения, должен иметь высокие значения содержания белка и числа падения, для бродильного производства – высокое содержание крахмала и низкое число падения). Остальные параметры модели могут быть одинаковыми для всех направлений использования.

Примерные параметры модели сорта озимой тритикале для условий Нечерноземной зоны могут быть следующими: высота растений не более 120 см, урожайность – не ниже стандарта (сорт Виктор селекции Московского НИИСХ «Немчиновка»), вегетационный период не более, чем у стандарта, высокая устойчивость к полеганию, прорастанию зерна в колосе, грибным листовым болезням (мучнистой росе и бурой ржавчине), высокая зимостойкость и устойчивость к снежной плесени, высокая продуктивная кустистость, крупное выполненное зерно (желательно – стекловидной консистенции), содержание белка не ниже, чем у стандарта.

Первый селекционный питомник 1-го года изучения был заложен уже в 2005 г., однако элитные растения для него были отобраны в НИИСХ Северо-Запада (Белогорка). Они отличались позднеспелостью, высокорослостью, склонностью к полеганию, высокой зимостойкостью и устойчивостью к

болезням, крупным морщинистым зерном, устойчивым к прорастанию в колосе.

Собственный материал для отборов (гибридный питомник F₂) был получен только в 2007 г. Был проведен индивидуальный отбор элитных колосьев по фенотипу и в дальнейшем развернут селекционный процесс по полной схеме, принятой для самоопыляющихся культур (коллекция, питомник гибридизации, гибридные питомники 2–5-го поколений, селекционные питомники 1-го и 2-го лет изучения, контрольный питомник, конкурсное сортоиспытание). Таким образом, селекционный процесс начался с изучения коллекции и конкурсного сортоиспытания, а в последующие годы целиком приобрел завершенную схему классического типа.

Особенностью селекционного процесса является использование метода тандемного отбора на естественном инфекционном фоне. Тандемный отбор позволяет вести отбор лучших селекционных номеров или элитных растений в несколько приемов: сначала оцениваем устойчивость к болезням в фазу ее наибольшего развития, а затем в фазу восковой спелости ведем отбор по морфологическим признакам среди выделенных устойчивых образцов. Окончательный отбор проводим после их обмолота в лаборатории по морфологическим признакам зерна (крупность, выполненность, консистенция, наличие проросших зерен, форма зародыша). Однако редко выдается год, когда имеется хороший естественный инфекционный фон. За время нашей работы это были 2008, 2009 и 2013 гг. В годы с недостаточным количеством осадков работать приходится вслепую. Здесь неоценимую помощь могло бы оказать применение молекулярных маркеров для оценки устойчивости генотипов тритикале к основным листовым болезням или к предуборочному прорастанию зерна в колосе. Такие попытки использования молекулярных маркеров нами уже предприняты совместно со специалистами из Центра молекулярной биотехнологии университета.

Отборы из ранних гибридных поколений у тритикале малоэффективны. Поэтому мы широко практикуем повторные отборы из популятивных

селекционных номеров более поздних звеньев селекционного процесса (селекционных и контрольного питомников). Это связано с длительностью стабилизации признаков у гибридов тритикале, которая сама является отдаленным гибридом и имеет сложный состав генома. Поэтому в селекционный питомник 1-го года изучения попадают элитные растения различных гибридных поколений. Всего за восемь лет существования этого питомника нами было изучено около 14000 образцов. Тандемный отбор в этом звене селекционного процесса проводим по морфологическим признакам растений, их устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам. Всего в селекционный питомник 2-го года изучения за это время было отобрано около 1200 номеров (примерно 7,7% от числа номеров СП-1). Из них в контрольный питомник попало 145 номеров (примерно 13%), затем в конкурсное сортоиспытание (КСИ) было передано около 30 самых лучших. Несмотря на некоторую склонность озимой тритикале к спонтанному перекрестному опылению, селекционные питомники размещаются без изоляции. Изоляцию применяют при получении гомозиготного материала для научных исследований и при ведении первичного семеноводства имеющихся сортов.

Оценку селекционных номеров ведем по общепринятым методикам в течение всего вегетационного периода (перезимовка, распространение снежной плесени, скорость отрастания, выравненность растений, высота растений, устойчивость к полеганию, болезням, длина межфазных периодов, наступление основных фенологических фаз, учет продуктивности и урожайности).

В 2017 году в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, внесен сорт тритикале Тимирязевская 150 (рис. 3.1.1). Сорт получен методом индивидуального отбора из гибридной комбинации 24h (♀Fidelio × ♂Доктрина 110). Растения сорта Тимирязевская 150 зеленые, высотой 77–123 см. Колос длинный, плотный, красный, сильно поникающий, полностью остистый с длинными остями на вершине.

Колосковые чешуи опушенные, длинные, узкие, плечо сильно скошенное или отсутствует, килевой зубец длинный, зубец от средней жилки отсутствует. Опушение соломины под колосом очень сильное, длинноволосистое. Зерновки относительно короткие, пшеницеподобные, красные, полустекловидные, крупные (масса 1000 зерен 43,0–43,2 г). За три года изучения в КСИ он показал высокую урожайность зерна (57,8–96,0 ц/га, у стандарта Виктор – 51,8–82,0 ц/га), высокую устойчивость к полеганию (4,5–5 баллов, у стандарта – 4–5 баллов), высокую зимостойкость (5 баллов, у стандарта – 4 балла), относительную устойчивость к снежной плесени на уровне стандарта (4–9 баллов), содержание белка в зерне на уровне стандарта (в среднем 14,5%), иммунитет к мучнистой росе и высокую устойчивость к бурой листовой ржавчине. Длина вегетационного периода – на уровне стандарта (318–321 день).



*Рисунок 3.1.1 – Колосья и зерновки нового сорта тритикале
Тимирязевская 150*

Одновременно с созданием и оценкой перспективных сортов ведется разработка оптимальных технологий их возделывания. Основные направления усовершенствования сортовых технологий связаны с

оптимизацией азотного питания растений тритикале на разных этапах онтогенеза, подбором эффективных средств защиты растений от наиболее вредоносного заболевания – снежной плесени, применением регуляторов роста для повышения урожайности и качества зерна. Совместно с кафедрой хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства университета проводится оценка хлебопекарных качеств зерна новых сортов, исследуется влияние хлебопекарных улучшителей на качество хлеба из тритикалевой муки и пшенично-тритикалевых смесей.

Ведется поддерживающая селекция (первичное семеноводство) созданных сортов озимой гексаплоидной тритикале. Имеется ряд лицензионных договоров на производство семян сортов тритикале селекции университета.

Кроме селекционно-семеноводческой работы с озимой гексаплоидной тритикале, на кафедре селекции и семеноводства полевых культур ведутся научные исследования, связанные с ее биологическими особенностями.

В.В. Пыльневим и Е.А. Комаровой было проведено анатомическое изучение стебля у ряда сортов тритикале в связи с актуальной для тритикале проблемой – невысокой устойчивостью к полеганию. Было показано, что устойчивые сорта имеют критическую массу на 1 см длины 2-го снизу междоузлия в пределах 410–490 г/см, большое число проводящих пучков, хорошо развитое кольцо склеренхимы. Была установлена тесная связь между некоторыми элементами анатомического строения и элементами продуктивности колоса. Показано, что более продуктивные растения обладают большими размерами медуллярной лакуны и толщиной стенки соломины (Комарова и др., 2007; Комарова и др., 2006). Проведено изучение анатомического строения колосового стержня в связи с продуктивностью колоса. Было отмечено, что округлая форма проводящих пучков характерна для сортов с более озерненными колосками, а удлиненная – с большим числом колосков в колосе (Комарова и др., 2007).

Большой нерешенной проблемой в селекции тритикале остается сильное предуборочное прорастание зерна в колосе, снижающее привлекательность этой культуры для производителей (рис. 3.1.2). Нами с аспиранткой Нгуен Тхи Тху Линь проведена оценка предуборочного прорастания зерна в колосе разными методами (полевыми, биохимическими, технологическими) большого числа коллекционных и селекционных образцов тритикале. Разработана и предложена система оценок, пригодная для массового применения в селекционном процессе (Нгуен и др., 2011; Рубец и др., 2010; 2012).

Аспирантом М.С. Баженовым проведена большая работа по выделению из гибридных популяций контрастных по устойчивости линий тритикале, оценке устойчивости к прорастанию зерна в колосе. Совместно с кафедрой физиологии растений им было проведено изучение влияния факторов среды на покой семян, а совместно с Центром молекулярной биотехнологии – влияния R/D замещения на устойчивость к предуборочному прорастанию (Баженов и др., 2011).

Ведутся работы по изучению глубины покоя семян, по изучению строения и фракционного состава крахмала в эндосперме тритикале при прорастании семян, по изучению влияния внутрисортных отборов на устойчивость к предуборочному прорастанию (по продолжительности периода покоя семян) и др. (Котенко и др., 2019; Рубец и др., 2011).

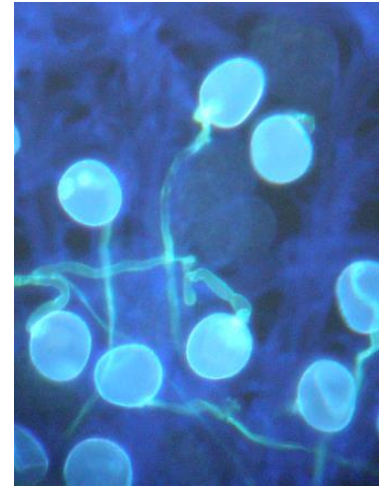
В рамках цикла работ по изучению биологии цветения тритикале проводятся исследования склонности к ксеногамии по реакции различных сортов на самоопыление (Рубец и др., 2011), избирательности оплодотворения (Рубец и др., 2012), степени хазмогамии цветков, дальности переноса пыльцы ветром от цветущего массива (Рубец и др., 2013), склонности к спонтанной гибридизации с пшеницей и рожью (Рубец и др., 2012; 2013), влияния биологического и механического засорения на сортовую чистоту посевов (рис. 3.1.2-4).



*Рисунок 3.1.2 –
Прорастание зерен в
колосе тритикале*



*Рисунок 3.1.3 –
Открыто цветущий
колос тритикале*



*Рисунок 3.1.4 –
Прорастание
пыльцевых зерен*

Ведется создание первичных тритикале путем скрещивания различных сортов пшеницы твердой, пшеницы тургидной и пшеницы мягкой с различными сортами диплоидной ржи, и последующей культуры изолированных зародышей. Преодоление стерильности гибридов F_1 проводится их опылением пылью константных сортов и гибридов гексаплоидной тритикале.

Эта же работа позволяет провести оценку способности сортов пшеницы и ржи к отдаленной гибридизации.

Проводится изучение наследования ряда хозяйственно–полезных признаков тритикале (Рубец и др., 2012).

Ведутся работы по оптимизации методов отбора элитных растений, устойчивых к фузариозу колоса.

В работе с озимой тритикале в разное время принимали участие В.С. Рубец, В.Н. Игонин, В.В. Пыльнев, аспиранты Е.А. Комарова, Нгуен Тхи Тху Линь, М.С. Баженов, О.В. Митрошина, И.Н. Панфилова, А.В. Широколава, студенты Е.В. Тихонова, А.А. Шамин, Е.А. Никитина, П.В. Кокорева, В.Ю. Митина, В.В. Ворончихин, Л.В. Кондрашина, Е.А. Дебалтовская, Ю.Н. Еремина, В.П. Штенцель, П.С. Евстигнеев и др.

3.2. СЕЛЕКЦИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Селекция озимой пшеницы ведется классическими методами селекции самоопыляющихся культур. В гибридизации широко используются отечественные и иностранные сорта озимой пшеницы. Созданный селекционный материал отличается высокой стабильной урожайностью, устойчивостью к основным заболеваниям.

Созданный новый сорт озимой пшеницы Тимирязевская юбилейная включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, в 2022 году по Центрально-Черноземному региону. Он создан методом индивидуального отбора в F₂ из гибридной популяции (Немчиновская 24 x Зимородок) x Юбилейная 100.

Средняя урожайность в конкурсном сортоиспытании сорта – 79,4 ц/га, максимальная – 86,1 ц/га.

Он характеризуется относительной скороспелостью по сравнению с находящимися в производстве сортами озимой пшеницы, что дает ему по сравнению с ними неплохое преимущество. Длина вегетационного периода 312-325 дней, на 4-5 дней созревает раньше стандарта Московская 56.

Разновидность сорта – эритроспермум. Куст прямостоячий. Соломина полая, прочная. Лист неопушенный, восковой налет средний. Колос цилиндрический, средней плотности. Колосковая чешуя ланцетная со средневыраженной нервацией. Зубец средней длины, острый. Плечо скошенное, узкое. Киль выражен слабо. Зерно крупное, полуудлиненное. Бороздка средняя. Масса 1000 зерен 45-51 г.

Высота растений 70-95 см. Устойчив к полеганию и прорастанию зерна в колосе. Зимостойкость высокая, на уровне стандарта.

Хлебопекарные качества удовлетворительные и хорошие.

Сорт средневосприимчив к мучнистой росе и септориозу. Требуются протравливание семян, обработка посевов фунгицидами.

За последние два года в конкурсном сортоиспытании выделились несколько перспективных образцов, в т.ч. 76h и 134h в 2021 году и 123h, 179h, 172h, 184h, 188 h в 2022 г. (табл. 3.2.1-2). Требуется их дополнительное изучение с целью определения экологической пластичности урожайности и других хозяйственно ценных признаков и свойств.

Таблица 3.2.1

Урожайность сортообразцов озимой пшеницы КСИ-2021

Сортообразец	Урожайность, т/га
Немчиновская 24	5,40
Московская 56 st	5,18
76h	6,16
122h	4,81
124h	5,65
132h	5,58
133h	5,78
134h	6,40
135h	3,66
136h	5,95
138h	5,38
140h	4,48
158h	5,58
НСР ₀₅	0,85

Таблица 3.2.2

Урожайность сортообразцов озимой пшеницы КСИ-2022

Сортообразец	Урожайность ср., т/га
Немчиновская 24	7,71
Московская 56 st	6,75
123h	8,04
131h	7,83
134h	7,72
136h	8,23
140h	7,90
170h	8,42
172h	8,97
184h	8,78
188h	8,80
10h	8,26
НСР ₀₅	1,18

3.3. СЕЛЕКЦИЯ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Люпин важная бобовая культура. Из четырех видов которые пригодны для возделывания в сельскохозяйственном производстве, в настоящее время коммерческое значение имеют два: *Lupinus albus L.* и *Lupinus angustifolius L.* Основным критерием, обеспечивающим важность культуры для производства, является высокое содержание белка (40 % и 35 % соответственно) (Анохина, 2012).

История селекционной работы по созданию сортов люпина узколистного началась в 80-е годы прошлого столетия. Вначале была заложена коллекция, затем применили метод мутагенеза для получения новых форм люпина узколистного. Семена обрабатывали гамма-лучами (Соб0) за три недели до посева. Доза 250 Гр при мощности дозы 0.263 Гр/мин. Одним из основных селекционных направлений было - уменьшение длины вегетационного периода. За основу был взят наиболее распространенный в то время сорт Немчиновский 846. Этот сорт отличался относительной скороспелостью и невысоким содержанием алкалоидов. Но индетерминантный тип ветвления и признак «растрескиваемость бобов» нуждались в улучшении. После обработки физическим мутагеном популяция была высеяна в поле. В последующие годы из популяции 5М2 были отобраны две мутантные формы, отличающиеся по типу ветвления. Одна форма (5М2-252) имела блокировку боковых ветвей на главном стебле генеративными органами, а другая (5М2-253) – фасциацированный стебель. Так был получен детерминантный сорт Ладный (1992 г.), визитной карточкой которого были: скороспелость; низкое содержание алкалоидов (Аникеева, Конорев, 2002; Коновалов и др., 1985). Он стал практически первым в мире коммерческим сортом, имеющим «злаковый тип» стебля. Данный образец используется в качестве донора таких важных хозяйственно-ценных признаков как скороспелость и безалкалоидность. В дальнейшем

направление селекции узколистного люпина основывалось на улучшении сорта Ладный.

Сотрудничество с отделом селекции зернобобовых культур ФИЦ «Немчиновка» было очень плодотворным. Обмен селекционным материалом дал хорошие результаты. Появился устойчивый тренд направления селекции люпина узколистного на создание зернофуражных сортов с измененным габитусом растения. Была проведена работа по введению гена неастрескиваемости и повышению высоты растения в целом (до 70 см) и прикрепления нижнего боба. Так появились сорта Денлад, Деко 1, Деко 2. Последний был внесен в Государственный Реестр селекционных достижений допущенных к использованию в сельскохозяйственном производстве в 2012 году.

Кроме зернового направления использования детерминантных сортов, уделялось внимание селекции на универсальное использование узколистного люпина. В данном случае речь идет об сидеральных сортах. И хотя при возделывании в качестве люпина-сидерата, предпочтение отдается ветвистым сортам, мы предлагаем образцы с ограничением габитуса на ветвях первого порядка. В приоритет использования данных сортов можно отнести стабильное получение семян в зоне использования сидеральной культуры. Очередным сортом, внесенным в Госреестр стал сорт Куршавель (2019г). Этот образец имеет сидеральное направление использования, что является важным в плане биологизации сельскохозяйственного производства. Новый сорт отличается быстрым начальным ростом и коротким периодом всходы – цветение. Поэтому может использоваться в качестве сидерата и промежуточной культуры. Данный сорт уникален сверхбыстрым темпом начального роста, что очень хорошо позволяет бороться с сорняками в посевах монокультуры. Этот положительный эффект может быть применен при использовании люпина в органическом земледелии.

Говоря о направлениях селекционной работы, следует отметить, что в последние 5 лет был увеличен спектр культур по которым она проводится. Особенно стоит отметить направление селекции на создание сортов люпина белого с пониженным содержанием алкалоидов в зерне. Эта работа проводилась совместно с лабораторией цитогенетики Белорусского государственного университета. Селекционная задача была определена потребностью переработчиков зерна люпина. В последнее время использование люпина, как компонента улучшающего качество продуктов питания активно развивается. Но сорта люпина используемые в производстве, не полностью соответствуют параметрам качества. Лимитирующим фактором в данном случае является содержание алкалоидов в зерне. Международные стандарты находятся на уровне 0.03%, а в российских сортах товарное зерно содержит от 0.05% алкалоидов и выше.

Базовым образцом для создания низкоалкалоидной формы люпина белого был взят сорт советской селекции Пищевой. После обработки семян мутагеном и пересевом были проанализированы популяции М1-М3 по признаку «содержание алкалоидов в семенах» и отобраны несколько растений с низкими показателями. Они были размножены и прошли исследования на комплекс хозяйственно-ценных признаков. Лучший по результатам оценки образец готовим к передаче для государственного сортоиспытания.

Эффективность работы по созданию новых сортов тесно связана с применяемыми селекционными технологиями. Поэтому совершенствование старых и разработка новых приемов и методов поиска продуктивных растений люпина является одной из основных задач селекционера. Начиная с выделения первых детерминантных форм люпина узколистного, идет работа по выявлению оптимальной архитектоники растений, способствующей проявлению максимальной и стабильной семенной продуктивности (Коновалов и др., 1989). В настоящее время заканчиваются исследования по разработке дополнительных критериев при отборе элитных

растений «злакового» типа. Кроме этого, проводятся опыты по повышению селекционными методами азотфиксирующей способности у люпина узколистного. Были проведены оценки уровня симбиотического эффекта, как у детерминантных форм, так и у индетерминантных. Отмечена сортоспецифичность по исследуемому признаку и отобраны образцы для участия в селекционной программе по схеме «сорт-штамм». Высокая эффективность новых сортов невозможна без работы по их размножению. Семеноводческая работа по производству семян сортов люпина узколистного ведется чаще всего с применением массового отбора. Но на начальных этапах внедрения сорта в производство, как правило, это первичное семеноводство, используется индивидуальный отбор. Такой же цикл повторяется через каждые 5 лет использования нового сорта в производстве. Основной целью этой работы является контроль за содержанием алкалоидов в семенах. Товарное семеноводство люпина проводится через систему, основанную на выдаче неисключительных лицензий на производство семян категории «репродукционные семена». Хозяйства-кандидаты проходят тщательный отбор по комплексу требований, касающихся, как финансовой стороны деятельности, так и семеноводческой работы. Данные отношения между патентообладателем и производителем семян позволяют возместить часть средств потраченных на создание сорта люпина. Это происходит через механизм выплаты роялти-вознаграждения за селекционное достижение.

В последнее время мы обратили внимание на такую важную с/х культуру, как соя. Имея большой опыт в продвижении люпина узколистного в северные районы нечерноземной зоны РФ, мы надеемся, проведя селекционную работу на основе результатов молекулярно-генетических исследований, получить положительный результат. Это будет детерминантный сорт сои – нейтральный к длине дня и со стабильной урожайностью на уровне 25-30 ц/га при возделывании в центральных районах Нечерноземья.

Мировое сельское хозяйство активно развивает органическое земледелие. В России оно еще не настолько популярно, как в мире. Но уже есть определенный положительный тренд в этом направлении. Люпин может занять определенную нишу в производстве экологически чистой продукции. Это связано с определенными особенностями культуры, и прежде всего с азотфиксирующей способностью (Konorev, 2021). Особенно хорошо подходят для этого направления использования сорта люпина имеющие «злаковый тип» стебля. Этот признак позволяет, за счет уплотнения густоты стояния растений бороться с сорняками в «органик» посевах. Ведется разработка технологического процесса получения семян люпина узколистного для органического земледелия.

3.4. СЕЛЕКЦИЯ ЗЕРНОКОРМОВЫХ КУЛЬТУР

Для развития сельскохозяйственного производства важное значение имеет подбор полевых культур, который ориентирован, прежде всего, на почвенно-климатические условия региона. В сложных условиях рискованного земледелия Нижнего Поволжья особое внимание уделяется засухоустойчивым культурам, способным формировать стабильно высокие урожаи. К их числу можно отнести сорго зерновое и сахарное, суданскую траву, сорго-суданковые гибриды, чумизу. В настоящее время расширение посевных площадей зернокармливых культур связано с увеличением разнообразия создаваемых гибридов и сортов.

К сортам и гибридам сорго всех направлений предъявляют следующие требования: скороспелость, высокая стабильная урожайность надземной биомассы и зерна, питательная ценность и устойчивость к наиболее распространенным болезням и вредителям. С учетом специфики почвенно-климатических зон и требований производства необходимо решение конкретных задач: 1. Селекция на повышение кормовой ценности зерна и

зеленой массы. 2. Селекция на скороспелость в сочетании с наименьшей требовательностью к теплу и быстрым темпам роста в начальный период. 3. Селекция на ассоциативную азотфиксацию в ризосфере сорго. 4. Селекция на холодостойкость.

В селекции чумизы основной проблемой является весьма существенная нестабильность урожайности и элементов ее составляющих. Следовательно, первостепенное значение имеет повышение крупности зерна для создания сортов крупяного направления, вследствие мелкосемянности чумизы. Подбор исходного материала чумизы на урожайность зерна сопровождаются оценкой размаха изменчивости данного показателя. На начальных этапах селекционного процесса на зерновую продуктивность необходимо учитывать уровень нижнего предела урожайности в неблагоприятный год.

Чумиза и сорговые культуры занимают достойное место в обеспечении отрасли животноводства питательными кормами. Создание сортов и гибридов зернокармликовых культур является сложным и трудоёмким процессом, который направлен на акклиматизацию этой культуры в Поволжье, повышение её продуктивности и скороспелости.

В результате селекции в Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использованию и Государственный реестр охраняемых селекционных достижений включено 17 сортов и селекционных линий зернокармликовых культур.

Сорт зернового сорго Гарант. Основной задачей, поставленной при выведении сорта, являлось создание скороспелого урожайного сорта зернового сорго, отличающегося одностебельностью, дружным созреванием семян, легкой вымолачиваемостью для использования на продовольственные цели (крупка) и на зернофураж. Сорт Гарант отличается высокой устойчивостью к полеганию, к головневым болезням, повреждению злаковой тлей, холодостойкостью, полевой всхожестью. Сорт включён в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию и охраняемых селекционных достижений в 2016 году по

Средневожскому (7), Нижневожскому (8) и Уральскому (9) регионам для выращивания на зерно, зернофураж, а также для производства крупы.

В результате селекции выделили 4 лучшие родительские формы из синтетической популяции зернового сорго сорта Гарант. Получены патенты, авторские свидетельства и включены в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений родительские формы синтетической популяции зернового сорго сорта Гарант: ЖВИ 25, ЖВИ 32, МЕВ 89/2, МЕВ 93/2.

Сорт зернового сорго Альмарин. Сорт предназначен для использования на продовольственные цели (крупы) и на зернофураж. Отличается высокой устойчивостью к полеганию, головневым болезням, повреждению злаковой тлей. Сорт Альмарин превосходит по урожайности вегетативной массы сорт-стандарт Перспективный 1, содержит в ней большую долю зерна. По результатам государственного сортоиспытания получен патент и авторское свидетельство. Сорт включён в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений в 2018 году по Средневожскому (7), Нижневожскому (8) и Уральскому (9) регионам для выращивания на зерно, зернофураж, а также для производства крупы.

Сорт зернового сорго Метеор. Сорт отличается более высокой, чем у стандарта Волжское 615 урожайностью зерна, высоким качеством полустекловидного зерна пригодного для получения зернофуража.

Сорт Метеор пригоден на зерно, зернофураж, а также для использования на силос, сенаж и монокорм, высевается широкорядным способом с шириной междурядья 70 и 45 см. Сорт отличается высокой устойчивостью к полеганию, болезням и вредителям. Превосходит по урожайности вегетативной массы сорт-стандарт Волжское 615. Сорт Метеор выведен для 7, 8, 9 и 10 (Средневожского, Нижневожского, Уральского и Западно-Сибирского) регионов включён в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений в 2019 году.

Сорт суданской травы Евгения. Сорт отличается высокой урожайностью, устойчивостью к полеганию, экономически рентабельным

семеноводством. Рекомендован для выращивания на зелёную массу, сено, силос, сенаж высокого качества. Сорт суданской травы Евгения с 2018 года районирован по 9 региону (по данным ФГБУ «Госсорткомиссия»).

В результате селекции выделили 8 лучших родительских форм из синтетической популяции суданской травы сорта Евгения. Получены патенты, авторские свидетельства и включены в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений родительские формы синтетической популяции суданской травы сорта Евгения: МЕВ – 17/2015, МЕВ – 19/2015, МЕВ – 21/2015, МЕВ – 23/2015, МЕВ – 25/2015, МЕВ – 27/2015, МЕВ – 29/2015, МЕВ – 31/2015.

Сорт чумизы Анастасия. Основной задачей при выведении сорта являлось создание раннеспелого сорта, пригодного для возделывания на зерно и зелёную массу, высоко технологичного, адаптированного к местным почвенно-климатическим условиям. Сорт Анастасия возделывается по энергосберегающей технологии; относительно скороспелый и урожайный; не подвержен болезнями. Сорт может быть использован: 1) на зерно; 2) на семена; 3) на зелёный корм, сенаж, силос.

Возделывание нового сорта Анастасия рекомендовано в Нижневолжском и Средневолжском регионах. Сорт внесен в 2014 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Нижневолжскому региону.

На основе многолетних научных исследований селекционный материал выделен в разные годы из гибридных потомств, полученных в результате внутривидовых, межсортных и межвидовых скрещиваний. На основе изучения целого комплекса хозяйственно ценных признаков создан новый исходный материал для селекции зернового, сахарного сорго, суданской травы, сорго-суданковых гибридов и чумизы.

Разработаны модели сортов зернового, сахарного сорго, суданской травы, чумизы для современных условий Нижнего Поволжья. Разработаны методические подходы к использованию приемов синтетической селекции в

создании сортов-синтетиков зернового сорго и суданской травы. Созданные сорта зернового сорго (Гарант и Альмарин), суданской травы (Евгения) и чумизы (Анастасия) внедряются в сельскохозяйственное производство различных регионов Российской Федерации.

Родительские формы синтетической популяции зернового сорго сорта Гарант: ЖВИ 25, ЖВИ 32, МЕВ 89/2, МЕВ 93/2 и суданской травы сорта Евгения: МЕВ – 17/2015, МЕВ – 19/2015, МЕВ – 21/2015, МЕВ – 23/2015, МЕВ – 25/2015, МЕВ – 27/2015, МЕВ – 29/2015, МЕВ – 31/2015 вовлечены в селекционные программы учеными ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» и ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ для получения конкурентноспособных высокопродуктивных сортов зернового сорго, суданской травы и сорго-суданковых гибридов.

3.5. АЛЛЕЛЬНЫЙ ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА АЗОТНОГО ОБМЕНА TAGRF3-2A И ЕГО ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ У ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Полукарликовые сорта, созданные в процессе Зеленой революции, и получившие массовое распространение благодаря повышенному индексу урожая и устойчивости к полеганию, имеют мутации в метаболизме гиббереллиновых сигнальных путей (Peng и др., 1999). Однако они имеют относительно низкую эффективность использования азота и требуют большого количества азотных удобрений для достижения высокого урожая (Goodling и др., 2012). Повышенный уровень транскрипции генов Growth Regulating Factor (GRF), одновременно способствуют росту растений, фотосинтетической фиксации углерода (С) и ассимиляции N, тем самым компенсируя ингибирующие эффекты гиббереллин-независимых генов низкостебельности (Li и др., 2018b).

В результате секвенирования гена TaGRF3-2A (TraesCS2A01G435100) у 19 сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) нами был обнаружен 21 гаплотип самого гена и его окружения (область 5'-некодирующей области и промотора до -1075 нуклеотидов от старт-кодона, и 1389 нуклеотидов после стоп-кодона, включая 3'-нетранслируемую область и терминатор). Также у пшеницы спельты PI428198 (*T. spelta* L.), дикой полбы Zavitan (*T. dicoccoides* (Koern. ex Aschers. Et Graebn.) Schweinf.) и пшеницы Урарту (*T. urartu* Thum. ex Gandil.), включенных в исследование для сравнения, было обнаружено ещё по одному гаплотипу. При этом гаплотип *T. urartu* отличался от аллелей пшеницы мягкой по множеству уникальных однонуклеотидных вариантов, гаплотип дикой полбы имел меньшее количество отличий, а гаплотип спельты не имел уникальных точковых мутаций и отличался по совокупности высоко вариабельного SNP и длины микросателлита в 5'-нетранслируемой области (5'-UTR).

В промоторе гена TaGRF3-2A нами был обнаружен часто встречающийся полиморфизм chr2A:g.687048627G>C. У большинства сортов мягкой пшеницы, а также у диких её сородичей, включенных в наше исследование, присутствует вариант C, в то время как у сортов и образцов Chinese Spring, Jagger, Lancer, CDC Stanley, Norin 61 и Novosibirskaya 67 присутствует вариант G. Вариант T полиморфизма chr2A:g.687048382C>T присутствует у краснодарских сортов Гром и Алтиго. Вариант T полиморфизма chr2A:g.687048137G>T присутствует у сортов Велена и Парагон. Вариант G полиморфизма chr2A:g.687048328A>G наличествует в нашем исследовании только у диких видов – *T. urartu* (PI428198) и *T. dicoccoides* (Zavitan). В рассматриваемой области промотора (chr2A:g.687047878_687048697) в гаплотипе *T. urartu* нами было обнаружено 15 уникальных однонуклеотидных вариантов.

В 5'-UTR области гена TaGRF3-2A присутствует микросателлитный повтор (AG)_n, где число повторов n варьирует от 11 до 37 (рисунок 3.5.1). Некоторые варианты микросателлита отличаются потерей одного нуклеотида

А, давая в результате длину повтора не кратную двум – 55 и 61 нуклеотид. У дикой полбы *Zavitan* на небольшом расстоянии перед микросателлитом имеется делеция 12 нуклеотидов с.-102_-91del. Также у *Zavitan* в 5'-UTR области имеется однонуклеотидная замена с.-140A>G.

В 3'-нетранслируемой области (3'-UTR) у *T. urartu* PI428198 присутствуют две однонуклеотидные замены с.*285A>G и с.*312A>T, а у пшеницы мягкой CDC Landmark присутствует однонуклеотидная замена с.*8C>T. В окружении гена с 3'-конца в непосредственной близости от точки окончания транскрипции у *T. urartu* PI428198 присутствует однонуклеотидная замена chr2:g.687052487C>T, а у дикой полбы *Zavitan* в этом же локусе имеется делеция двух нуклеотидов chr2:g.687052487_687052488del. У *T. urartu* также в рассматриваемом участке хромосомы имеется делеция одного нуклеотида chr2:g.687052671del.

	*	20	*	40	*	60	*	
a.14;c.1	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAG	-----	-----	-----	-----	: 22
a.15;a.17	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	-----	: 28
a.16	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	-----	: 40
a.7	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	-----	: 42
a.2	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	-----	: 44
a.12;b.1	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AG	-----	-----	-----	: 46
a.3;b.2	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAG	-----	-----	-----	: 48
a.8	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAG	-----	-----	-----	: 50
a.13	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 54
b.4	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 55
a.4;a.6	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 56
d.1	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 58
b.5	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 61
a.1;b.3	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 62
a.5	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 64
a.9	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 66
a.10	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 68
a.11	: AGAGAGAG	GAGAG	GAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	AGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAGAG	-----	-----	-----	: 74

Рисунок 3.5.1 – Полиморфизм длины микросателлита (AG)*n* в 5'-UTR области гена *TaGRF3-2A*, обнаруженные с помощью секвенирования

В интронах гена отличия от референсной последовательности Chinese Spring IWGSCv1.0 присутствовали только у *T. urartu*. Во втором интроне у образца PI428198 присутствовала инсерция трех нуклеотидов с.325+32_+33insTCC, а также 3 однонуклеотидных замены с.325+169G>C, с.326-39A>G, с.326-174A>G. В третьем интроне у этого же образца пшеницы присутствовали однонуклеотидные замены с.689+136A>G и с.689+241T>C.

В кодирующей части гена, во втором экзоне у сорта пшеницы мягкой Новосибирская 67 была обнаружена делеция 9 нуклеотидов с.126_134del, приводящая к выпадению трех остатков глутамина в молекуле белка в полиглутаминовом регионе р.(Gln42_Gln44del). В третьем экзоне нами был найден полиморфизм с.495G>T приводящий к замене аминокислотного остатка глутамина на гистидин р.(Gln165His). У T. urartu в том же экзоне присутствуют две соседствующие однонуклеотидные замены относительно референсного генома пшеницы – с.528G>C и с.530C>G, которые приводят к замене двух последовательно идущих аминокислот в белке р.(Gln176_Ala177delinsHisGly). В 4-ом экзоне, также у T. urartu присутствует замена с.729C>G, приводящая к изменению белка р.(Asp243Glu).

Для определения фенотипического проявления выявленных аллельных вариантов гена TaGRF3-2A по локусу с.495G>T в третьем экзоне и по микросателлитному локусу (AG)_n в 5'-UTR области нами были разработаны молекулярные маркеры, с помощью которых проведён скрининг коллекции озимой пшеницы, и проведён поиск значимых связей с важными хозяйственно-ценными признаками. Изучаемая коллекция представлена 203 сортами и селекционными образцами ведущих селекционных центров России и зарубежья: Национальный центра зерна имени П.П. Лукьяненко (89 сортов), АНЦ Донской (13 сортов), Федеральный Ростовский аграрный научный центр (7 сортов), ФИЦ Немчиновка (7 сортов), Северо-Кавказский ФНАЦ (7 сортов), Верхневолжский ФАНЦ, Львовская опытно-селекционная станция СибНИИРС, ВНИИЗБК, НИИСХ имени Тулайкова, НИИСХ Юго-Востока, НПЦ Селекция, Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий; сорта иностранной селекции из Украины (9 сортов) и Франции (10 сортов), Австрии, Болгарии, Великобритании, Венгрии, Германии, Китая, Польши, Румынии, Сербии, США и Чехии.

Для детекции полиморфизма с.495G>T приводящий к изменению белка р.(Gln165His) нами был разработан CAPS маркер GRF3-2A-Q165+SfaNI,

представляющий собой пару праймеров GRF3-2A-Q165-F и GRF3-2A-Q165-R и рестриктазу SfaN I (рисунок 3.5.2).

```

*      20      *      40      *      60      *      80      *
Grom_a : GGGTTTCTTAATTGCTTGCAGTTGGGTACGGGTCCCTACTTCGGGAAGAAGCTGGATCCGGAGCCGGGGCGGTGCCGGCGGACGGACGGC : 91
Fisht_a : GGGTTTCTTAATTGCTTGCAGTTGGGTACGGGTCCCTACTTCGGGAAGAAGCTGGATCCGGAGCCGGGGCGGTGCCGGCGGACGGACGGC : 91
CDS      : -----TGGGTACGGGTCCCTACTTCGGGAAGAAGCTGGATCCGGAGCCGGGGCGGTGCCGGCGGACGGACGGC : 68
          gggtttctttaatttgcttgcagTGGGTACGGGTCCCTACTTCGGGAAGAAGCTGGATCCGGAGCCGGGGCGGTGCCGGCGGACGGACGGC

          100      *      120      *      140      *      160      *      180
Grom_a : AAGAAGTGGCGGTGCTCCAAGGAGGCCGCCAGGACTCCAAGTACTGCGAGCGCCACATGCACCGCGGCCGAACCGTTCAAGAAAGCCTG : 182
Fisht_a : AAGAAGTGGCGGTGCTCCAAGGAGGCCGCCAGGACTCCAAGTACTGCGAGCGCCACATGCACCGCGGCCGAACCGTTCAAGAAAGCCTG : 182
CDS      : AAGAAGTGGCGGTGCTCCAAGGAGGCCGCCAGGACTCCAAGTACTGCGAGCGCCACATGCACCGCGGCCGAACCGTTCAAGAAAGCCTG : 159
          AAGAAGTGGCGGTGCTCCAAGGAGGCCGCCAGGACTCCAAGTACTGCGAGCGCCACATGCACCGCGGCCGAACCGTTCAAGAAAGCCTG

          *      200      *      220      *      240      *      260      *
Grom_a : TGGAAACGCACTCGTCTCCCACTCCACGAGCTGCAGCAGCAGGCCCCCGCCCGCGGTCCACGGCCACTCGCGGTACCCGGCGATCGC : 273
Fisht_a : TGGAAACGCATCTCGTCTCCCACTCCACGAGCTGCAGCAGCAGGCCCCCGCCCGCGGTCCACGGCCACTCGCGGTACCCGGCGATCGC : 273
CDS      : TGGAAACGCACTCGTCTCCCACTCCACGAGCTGCAGCAGCAGGCCCCCGCCCGCGGTCCACGGCCACTCGCGGTACCCGGCGATCGC : 250
          TGGAAACGCAgCTCGTCTCCCACTCCACGAGCTGCAGCAGCAGGCCCCCGCCCGCGGTCCACGGCCACTCGCGGTACCCGGCGATCGC

          280      *      300      *      320      *      340      *      360
Grom_a : CACTGGCGCCGGCGCGCCGGCTCCTTCGCCCTGGGGTCTACTGCTCAGCTGCACATGGATAATGCTGCTGCGCCTTACGGCACCGCTGGC : 364
Fisht_a : CACTGGCGCCGGCGCGCCGGCTCCTTCGCCCTGGGGTCTACTGCTCAGCTGCACATGGATAATGCTGCTGCGCCTTACGGCACCGCTGGC : 364
CDS      : CACTGGCGCCGGCGCGCCGGCTCCTTCGCCCTGGGGTCTACTGCTCAGCTGCACATGGATAATGCTGCTGCGCCTTACGGCACCGCTGGC : 341
          CACTGGCGCCGGCGCGCCGGCTCCTTCGCCCTGGGGTCTACTGCTCAGCTGCACATGGATAATGCTGCTGCGCCTTACGGCACCGCTGGC

          *      380      *      400      *      420      *      440      *
Grom_a : CCCGCCGGGAACAAAGATTTTCAGGTGATCTCCATTAACTTCTCTGCAATGCTGCGCTGCTGCTGATTCACCTGCCGTTTATCTTCTG : 454
Fisht_a : CCCGCCGGGAACAAAGATTTTCAGGTGATCTCCATTAACTTCTCTGCAATGCTGCGCTGCTGCTGATTCACCTGCCGTTTATCTTCTG : 454
CDS      : CCCGCCGGGAACAAAGATTTTCAGGT-----TCACCTGCCGTTTATCTTCTG : 366
          CCCGCCGGGAACAAAGATTTTCAGGTgatctccattaacctctctgcatgctctgctgctgctgatcacctgocgtttttatcttctg

```

Рисунок 3.5.2 – Праймеры, используемые для CAPS-маркера GRF-2A-Q165 однонуклеотидного полиморфизма G495T гена TaGRF3-2A и сайт узнавания эндонуклеазы рестрикции SfaN I.

В результате ПЦР с данными праймерами получается продукт размером 454 п. н. При наличии нуклеотида Т (аллель «Т») в позиции с.495 гена Grf3-2A, ПЦР-продукт будет иметь сайт рестрикции SfaN I (GCATC(5/9)[^]) и разрежется на 2 фрагмента размером примерно 201 и 253 п. н. с липкими концами, а при наличии нуклеотида G (аллель «G») сайт рестрикции отсутствует (рисунок 3.5.3).

Полиморфизм с.495G>Т в третьем экзоне, как оказалось, весьма распространён среди краснодарских сортов пшеницы и был значимо связан со сроком колошения, устойчивостью к полеганию, массой 1000 зерен, натурой и визуальной оценкой зерна. Статистический анализ фенотипических данных для коллекции сортов мягкой пшеницы, полученных за три года (2018-2020), показал, что аллель «G» с аллелем «Т» гена TaGRF3-2A в каждый год из трех значимо связан с более высокой натурой зерна и в два года из трех значимо связан с более высокой балловой визуальной оценкой зерна. В один год из трех проявилась положительная связь этого

аллеля с массой 1000 зерен и большим содержанием белка в зерне. Однако в 2018 году у сортов с аллелем «G» урожайность зерна была существенно ниже. При этом снижение сбора белка с гектара, связанное с аллелем «G» было статистически незначимым.

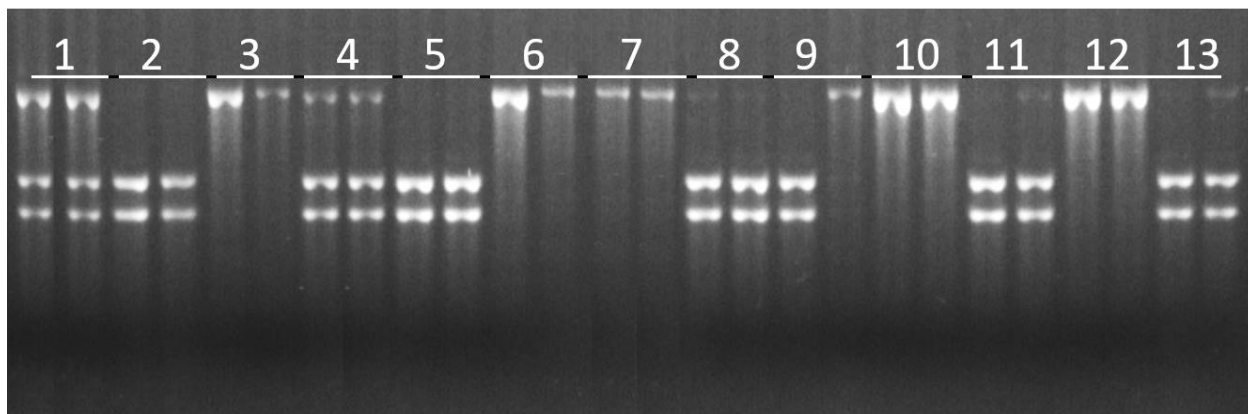


Рисунок 3.5.3 – Электрофореграмма разделения продуктов ПЦР и рестрикции, полученных с помощью CAPS маркера GRF3-2A-Q165+SfaNI: (1 - Безостая1, 2 – Краснодарская 6, 3 – Лига 1, 4 - Граф, 5 - Зимница, 6 - Юнона, 7 - Коллега, 8 - Васса, 9 – Краснодарская 99, 10 - 7675h34-23, 11 - Россыпь, 12 - Юка, 13 - Этнос. Нижние два бэнда соответствует аллелю «Т», верхний бэнд – аллелю «G»)

У линий, несущих мутантный аллель «Т», колошение наступало раньше на 2 дня, масса 1000 зерен была на 1,5 г больше, а натура зерна – на 13 г больше, и почти на балл выше визуальная оценка зерна, по сравнению с сортами и линиями пшеницы, имеющими аллель дикого типа. Устойчивость к полеганию у образцов с мутантным аллелем «Т» была несколько ниже, что вероятно связано с увеличением массы колоса. У сортов, имеющих аллель «G», длина, ширина и площадь зерновки была в среднем больше, чем у сортов, имеющих аллель «Т», на 3,7%, 5,1% и 9,3% соответственно. Таким образом, хотя аллель «Т» и даёт большую массу 1000 зёрен, одновременно уменьшает площадь зерновки, что можно объяснить щуплостью/выполненностью зерновки и плотностью упаковки крахмальных зёрен в эндосперме, а также влиянием генов низкостебельности на линейные параметры зерновки. Интересно, что аллель «Т» имеет наибольшее

распространение среди сортов российской селекции, и не исключено, что он был унаследован от сорта Безостая 1.

Полиморфизм по микросателлитному локусу (AG)_n в 5'-UTR области гена TaGRF3-2A нами определялся с помощью маркера GRF-SSR-2A, разработанного на фланкирующие участки и требующего фрагментного анализа для детекции результатов; аллели нами обозначены по размеру амплифицируемого фрагмента. Маркер был протестирован на образцах озимой пшеницы из изучаемой коллекции и показал 9 вариантов размера микросателлитного локуса в 5'-UTR области гена TaGRF3-2A, хотя сравнение микросателлита среди секвенированных гаплотипов TaGRF3-2A дало 18 различных длин tandemных повторов TaGRF3-2A. Это можно объяснить тем, что были секвенированы и генотипированы разные образцы.

Для микросателлитного маркера GRF-SSR-2A, локализованного в 5'-нетранслируемой области гена TaGRF3-2A, была выявлена значимая связь со временем колошения, высотой растений, натурой зерна, массой 1000 зерен и визуальной оценкой выполненности зерна. Наиболее рано вступали в фазу колошения линии и сорта пшеницы с аллелем микросателлита «283». Значимо по высоте отличались образцы пшеницы с аллелями «258», «270» и «277» (средние, низкие и высокие соответственно). Низкой натурой и выполненностью зерна отличались образцы с аллелем «266», однако масса 1000 зерен у этих же образцов была больше среднего (большое по размеру, слабо выполненное зерно). Наибольшую площадь зерновки имели образцы с аллелями «270», достоверно в среднем отличаясь от образцов с аллелями «254» на 20%, «266» на 14,5% и «268» на 29%. От сортов с аллелем «270» в среднем не отличались образцы с аллелем «283». Минимальное значение площади зерновки показали сорта с аллелем «268», от которых в среднем значимо не отличались сорта с аллелем «277». Наибольшую ширину зерновки имели образцы с аллелем «270», достоверно в среднем отличаясь от образцов с аллелями «254» на 13%, «266» на 13% и «268» на 18%. Образцы с аллелем «270» в среднем не отличались по ширине зерновки от образцов с

аллелем «283», минимальное значение этого параметра показали сорта с аллелем «268». Таким образом, выигрыш в увеличении площади зерновки благодаря аллелю TaGRF3-2A «270» происходит благодаря его влиянию на ширину зерновки.

Таким образом, выявленные нами полиморфизмы внутри гена TaGRF3-2A с.495G>T в третьем экзоне и (AG)_n в 5'-UTR области влияют на элементы продуктивности озимой пшеницы. Созданные нами молекулярные маркеры могут быть использованы в селекции низкостебельных сортов для отбора по конкретным аллелям гена TaGRF3-2A и их комбинациям (гаплотипов) в сочетании с различными генами низкостебельности.

3.6. ВЛИЯНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ОСНОВНЫЕ ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

В оценке селекционного материала озимой и яровой тритикале на устойчивость к грызущим и сосущим вредителям используются ряд цитологических методов.

Проростки данных культур обрабатывались рядом регуляторов роста «Эпин-Экстра», «Экопин», «Циркон», «Альбит и кремниевым удобрением «Силиплант». Полученные данные играют важную роль

Измерения проводились с использованием окуляр-микрометра и фотонасадки TourCam 10 Мп

Проводилось сравнение толщины клеточной стенки сортообразцов яровой тритикале без обработки кремниевым удобрением «Силиплант» и после обработки (табл. 3.6.1). Для каждого измерения бралось по 3 растения каждого сортообразца. С каждого из растений случайным образом проводилось измерение клеточных стенок 100 клеток. Клетки выбирались из области стебля и листьев в равной степени.

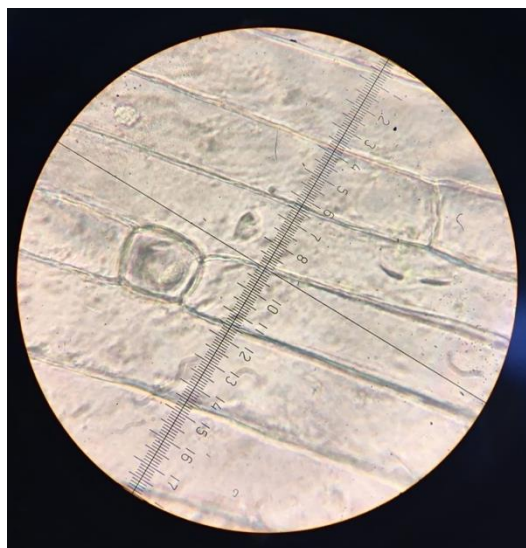


Рисунок 3.6.1 – Измерение толщины клеточной стенки окуляр-микрометром

Таблица 3.6.1

Схема опыта

	Без обработки	С обработкой «Силиплантом»
Обработка	-	при достижении проростками 2 см
1-е измерение (контроль)	при достижении проростками 2 см	-
2-е измерение	на 4 день всходов	на 4 день всходов
3-е измерение	на 8 день всходов	на 8 день всходов

На представленных ниже гистограммах показаны результаты измерения клеточной стенки 10 сортов образцов яровой тритикале на 4 день всходов и на 8 день всходов, с обработкой и без комплексным удобрением «Силиплант»

В контрольной группе на 4 день всходов можно заметить, что в среднем толщина клеточной стенки уменьшилась. Сорт образцы Праг 552, 32-2-4 и 8880 имеют достоверно более широкую клеточную стенку по сравнению с остальными сорта образцами.

На 8 день всходов толщина клеточной стенки в целом остается на прежнем уровне (рис. 3.6.2), однако у сорта образца 32-2-4 она становится

значительно тоньше по сравнению с 4 днем всходов и имеет статистически значимое различие со всеми остальными сортообразцами, что может быть связано с сортовыми особенностями подготовки растения к вегетационному периоду.

При контрольном измерении статистически значимые различия можно увидеть между группой сортообразцов Sandro, P1 429151, Праг 552, 32-2-4, которая имеет наибольшие показатели толщины клеточной стенки и остальными сортообразцами, имеющими примерно одинаковые значения.

На 8 день всходов ширина клеточных стенок, обработанных Силиплантом растений незначительно уменьшилась, что также наблюдалось и в случае без обработки. Статистически значимые различия присутствуют между сортообразцом 8857 и группой сортообразцов С-224, 8844, Арта 59, 32-2-4, P1 42915, 8880 и 8-35-5. Также образцы Sandro и Праг 552 имеют достоверно большую толщину клеточной стенки по сравнению с С-224, 8844, Арта 59 и 8-35

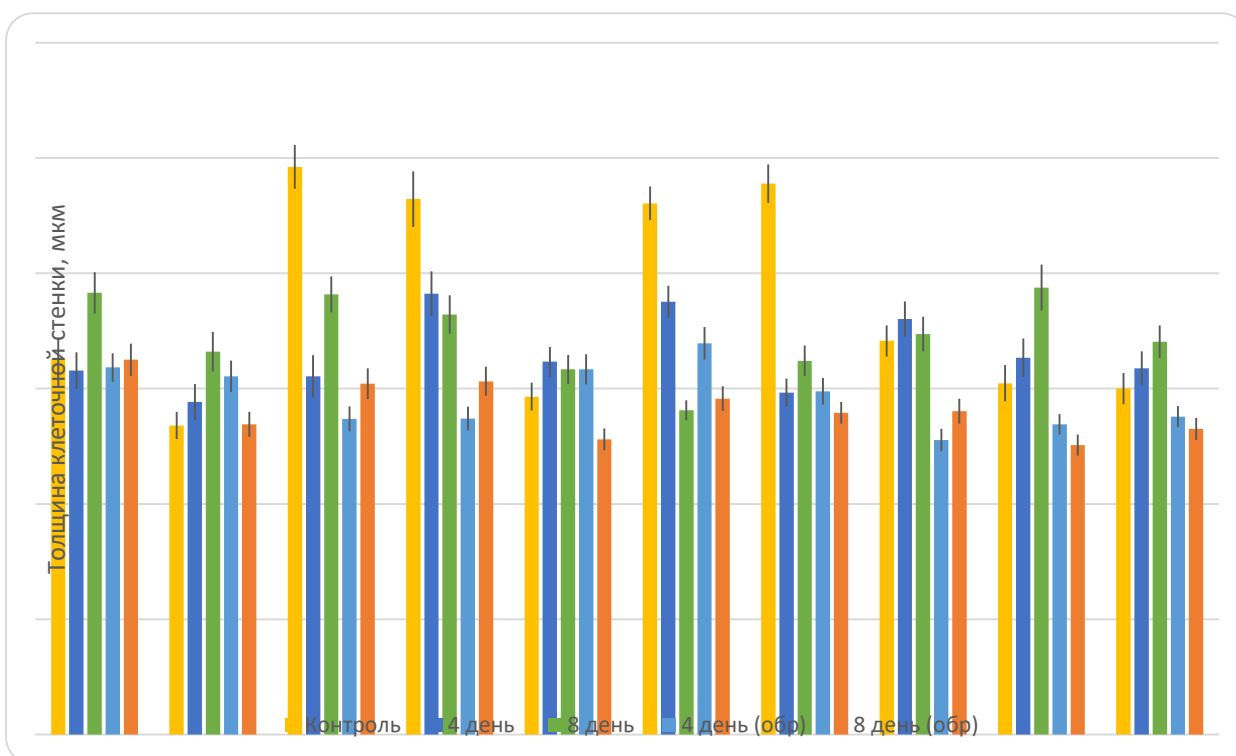


Рисунок 3.6.2 – Сравнение толщины клеточной стенки по дням после всходов

При сравнении результатов в случаях со всеми сортообразцами заметно уменьшение толщины клеточной стенки яровой тритикале после обработки Силиплантом, что может являться отрицательным фактором, так как численность сосущих вредителей может увеличиваться, так как утоньшение упрощает процесс прокалывания клеток растений для питания.

У сортообразцов Sandro(38%), Праг 552 (34%), 32-2-4 (37%) и P1429151 (42%) наибольшие отличия от контроля, толщина их клеточной стенки уменьшилась почти вдвое.

Сортообразцы 8844 (13%), 8880 (18%), Арта 59 (18%) и 8-35-5 (12%) показывают значения меньше, но также достоверно отличающиеся друг от друга, их толщина клеточной стенки тоже уменьшается.

В сортообразцах 8857 и С224 достоверных различий не наблюдается.

Данные сравнения значений толщины клеточной стенки листа и стебля сортообразцов озимой тритикале без обработки и обработанных регулятором роста «Альбит» представлены на рис.3.6.3.

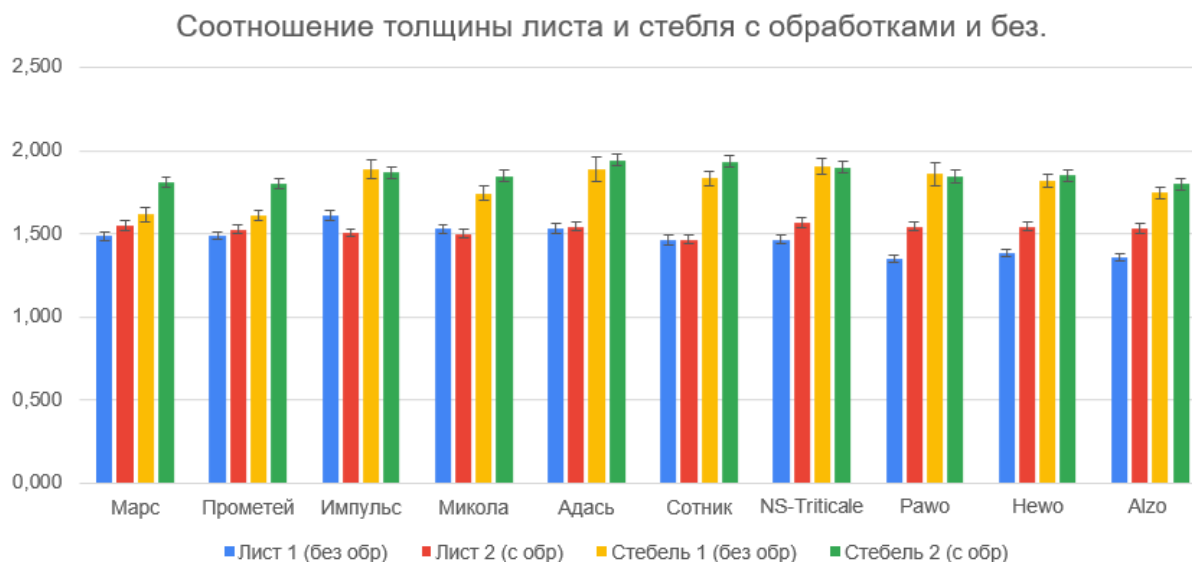


Рисунок 3.6.3 – Соотношение толщины листа и стебля с обработками и без

Исходя из анализа гистограммы можно сказать, что обработка «Альбитом» оказывала положительное влияние на толщину клеточной стенки растений. Препарат «Альбит» оказал наибольшее влияние на сорта

Hewo, Alzo, Pawo и NS-Triticale, во всех вариантах толщина клеточной стенки значительно увеличивалась. На сорта Адашь, Сотник, Микола, Прометей и Марс, регулятор роста не оказал значительного влияния, а толщина клеточной стенки листьев сорта Импульс уменьшилась.

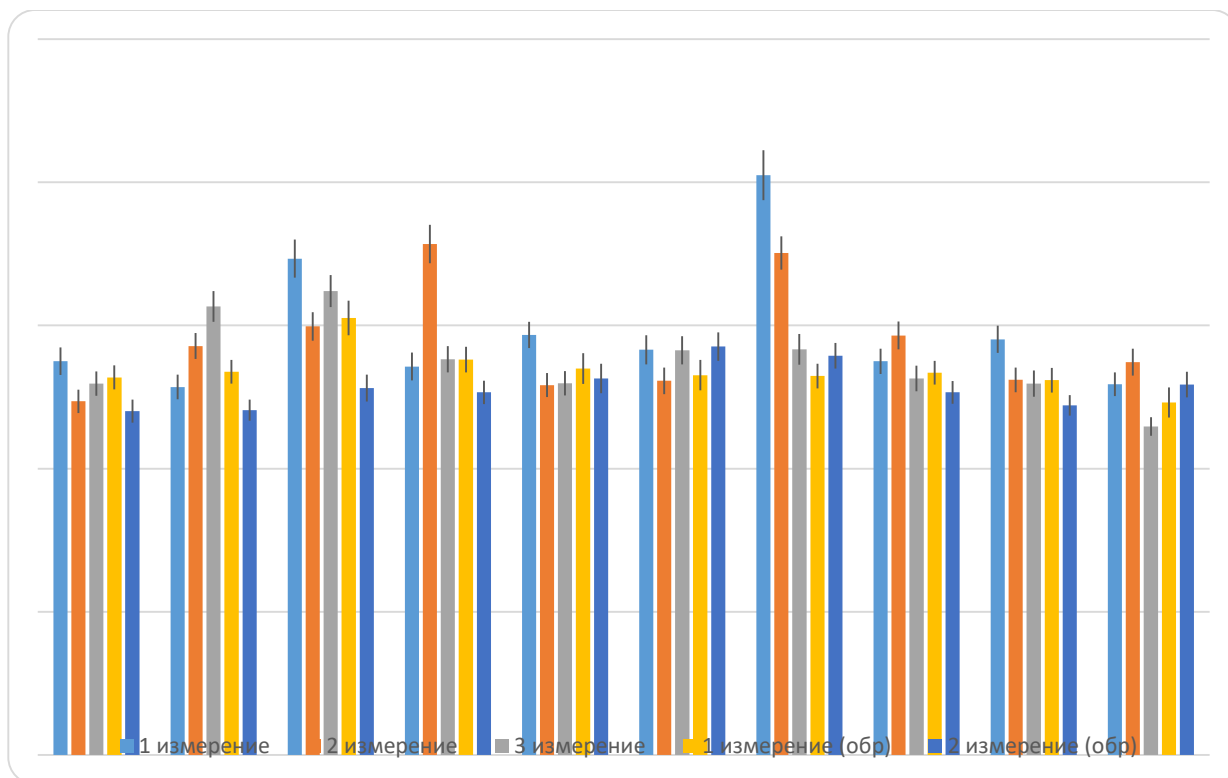


Рисунок 3.6.4 - Сравнение толщины клеточной стенки сортообразцов по трем измерениям без обработки и двум измерениям с обработкой

Исходя из гистограммы (рис. 3.6.4) видно, что измерения клеточной стенки коллекции образцов яровой тритикале с обработкой препаратом «Силиплант» значительно ниже в сравнении с вариантом без обработки. Сортообразец С99 отличается резким увеличением толщины стенки без обработки по сравнению с остальными сортообразцами. Образцы Wanad и С99 имеют практически одинаково высокие показатели по второму измерению без обработки. У сортообразцов Ярило, 08844, Л8666, С99, Праг 418 и Ril 205 R 72 замечены закономерные уменьшения толщины клеточной стенки в варианте с обработкой, чем в варианте без обработки, а у образца 08821 сначала идет увеличение толщины клеточной стенки к третьему

измерению и последующие снижение под воздействием обработки «Силиплантом».

Нами исследовалось также влияние регуляторов роста на заселенность злаковыми тлями (*Schizaphis graminum*) тритикале при обработках препаратом «Альбит» и без них.

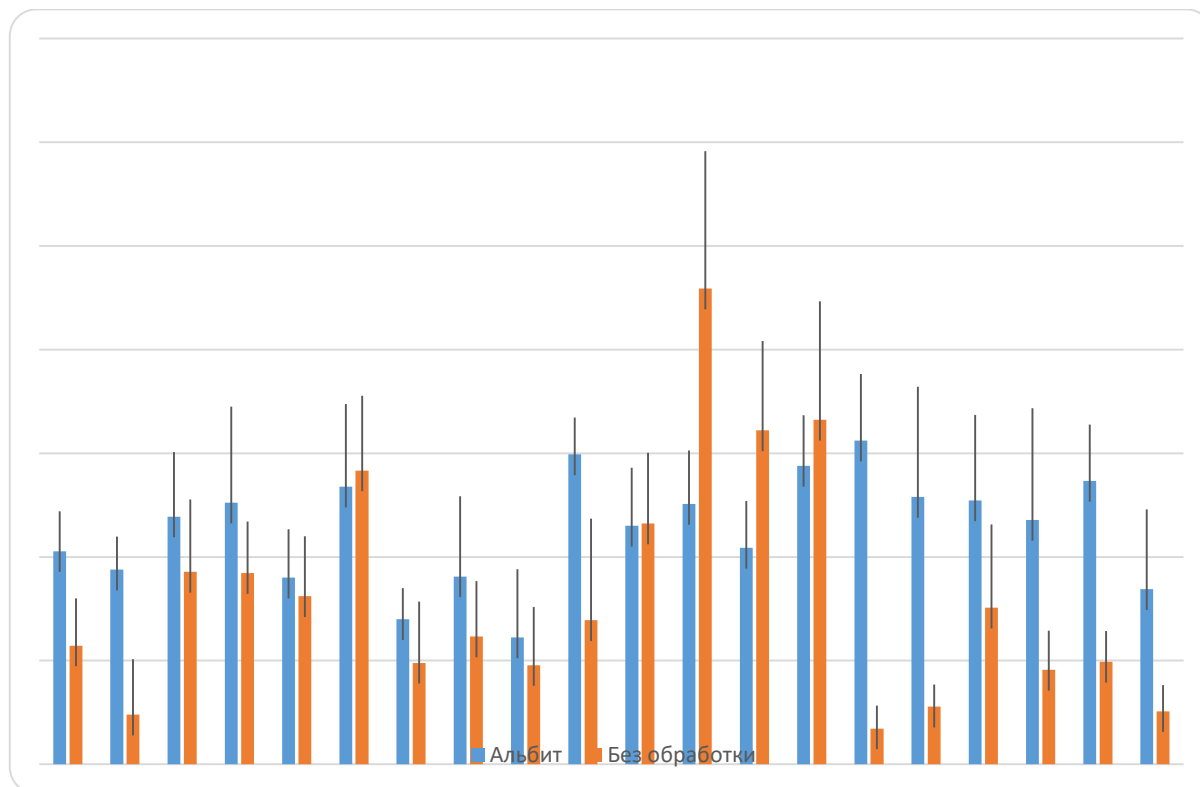


Рисунок 3.6.5 – Оценка устойчивости коллекции озимой тритикале к обыкновенной злаковой тле на различных сортообразцах при использовании стимуляторов роста

Гистограмма (рис.3.6.5) свидетельствует о том, что численность тлей на растениях, обработанных регулятором роста, гораздо выше, чем на растениях, которые не были обработаны, но есть и исключения.

Наибольшее среднее значение численности тли за все дни измерения составляет 22,94 шт на сортообразце ЛОГ 8 без обработки регулятором роста. Наименьшее среднее значение численности тли за все дни измерения составляет 2,56 шт на сортообразце Каскад без обработки регулятором роста.

Существенные различия в результате обработок регулятором роста «Альбит» между численностью тли наблюдаются у образцов Кастусь, Алесь,

Lamberto, Bellac, Lupus, Bienvenu, ПРАГ 505, СНТ 4/94, СНТ 11/92, СНТ 5/92, Presto УН 58 ДН, Линия 7 и Каскад. На этих сортообразцах численность на растения, обработанных регулятором, гораздо выше, чем на тех же сортообразцах без обработки.

Так же существенные различия численности тлей наблюдаются у образцов: ЛОГ 8, СНТ 16/94. На этих сортообразцах численность на растениях без обработки гораздо выше, чем на сортообразцах, которые были обработаны регулятором роста.

Также есть сортообразцы, где средняя численность тли не имеет существенных различий между растениями с обработкой стимулятора роста и без. Этими образцами являются Magnat, Timbo, ПРАГ черноколосый, ОГМ1, СНТ 7/94. Здесь численность тлей на растениях, обработанных регулятором роста и без него, практически одинаковы.

Подводя итог, можно сказать, что при использовании регулятора роста «Альбит» наблюдается отрицательная корреляция, то есть устойчивость растений к обыкновенной злаковой тле снижается после обработки. Однако были образцы, где численность тли уменьшалась при обработке.

3.7. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОРТОВЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

С распадом СССР единая селекционно-семеноводческая сеть оказалась разорванной (Березкин и др., 2006). За последние тридцать лет в странах СНГ и ЕАЭС в сфере селекции и семеноводства были приняты отдельные законодательные акты, что привело к значительным различиям в применяемых для определения сортовых качеств семян методиках, появлению разных форм документов на семена.

В соответствии со ст. 1444 ГК РФ реализуемые в Российской Федерации семена и племенной материал должны быть снабжены документом, выдаваемым органом по сертификации, удостоверяющим их сортовую, породную принадлежность и происхождение (Гражданский кодекс ..., 2006).

После принятия законов РФ «О селекционных достижениях» (1993 г.) и «О семеноводстве» (1997 г.) сорт в Российской Федерации стал полноправной единицей товарно-денежных отношений. В течение последних 30 лет практически подготовлена нормативная правовая база развития селекции и семеноводства в соответствии с правовой базой ведущих зарубежных стран. Россия стала членом международных ассоциаций и союзов, с которыми успешно сотрудничает (Березкин и др., 2015; 2016).

В РФ введена сертификация семян сельскохозяйственных растений (Березкин и др., 2010; Малько и др., 2003; Малько, 2005; Сборник нормативной документации ..., 2010; Правила функционирования ..., 2015). Важнейшей ее составной частью является сортовой контроль, который проводится посредством апробации посевов, грунтового и лабораторного сортового контроля.

На территории Российской Федерации действуют более 150 стандартов в области семеноводства более 150 сельскохозяйственных растений. Это национальные стандарты (16 ГОСТ Р), межгосударственные стандарты (119 ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), технические условия (ТУ) и стандарты организаций (СТО) (Малько, 2015; Государственные стандарты Союза ..., 1991; Национальный стандарт Российской Федерации ..., 2005). Они регламентируют требования к сортовым и посевным качествам семян сельскохозяйственных растений, методам определения качества, правила отбора проб от партий семян, правила выдачи и сроки действия документов о качестве семян.

Современная нормативная правовая база Российской Федерации в области семеноводства в целом унифицирована с законодательством

развитых стран (Березкин и др., 2012; Фройденштайн, 2009; Совершенствование законодательной ..., 2009). В то же время в странах ЕАЭС действуют различные законы в области селекции и семеноводства, сертификации семян (Закон Кыргызской Республики ..., 1997; Закон Республики Казахстан ..., 2003; Закон Республики Беларусь ..., 2013; Положение о порядке ..., 2013; Положение по сертификации ..., 2002).

Многие документы, определяющие порядок и правила определения сортовых качеств семян, требуют переработки. В Российской Федерации в первую очередь это документы, определяющие проведение апробации (полевого обследования) и определения сортовой чистоты посева:

- инструкция по апробации сортовых посевов (части 1, 2), утвержденная НТС Минсельхозпрода РФ 21 июня 1994 г. (Инструкция по апробации ..., 1996);

- инструкция по апробации маточных насаждений и посадочного материала плодовых, ягодных, цветочно-декоративных культур и винограда, утвержденная Минсельхозпродом РФ 10 января 1994 (Инструкция по апробации ..., 1994);

- инструкция по апробации сортовых посевов (посадок) эфиромасличных культур, утвержденная Минсельхозом РФ 5 июня 1980 г. (Инструкция по апробации ..., 1980) и ряд других.

В Российской Федерации были созданы инструкция по апробации семеноводческих посевов овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты (от 27 июля 2000 г.) (Инструкция по апробации ..., 2000), «Методические рекомендации по определению сортовых качеств семян в полевых условиях» (Методические рекомендации ..., 2006). Данные методические указания, однако, не заменяют четких Инструкций по проведению апробации групп или отдельных культур.

В Российской Федерации, Республике Казахстан, Армении, Киргизии в настоящее время используются методики апробации, разработанные в СССР. В то же время в Республике Беларусь (РБ) разработаны собственные

Инструкции по апробации (Инструкция по апробации ..., 2004). Составители их в первую очередь учитывали особенности семеноводства в РБ, в первую очередь небольшую площадь полей. Это привело к существенному снижению предельно допустимой площади для отбора снопов, числа пунктов отбора и числа отбираемых растений (стеблей) практически для всех апробируемых культур. В Российской Федерации, Республике Беларусь и Киргизской республике были созданы методики грунтового контроля и утвержден перечень растений, сортовые посевы которых подлежат грунтовому контролю (Методика грунтового ..., 2015).

В 2017 г. (7 ноября) подписано «Соглашение об обращении семян сельскохозяйственных растений в рамках ЕАЭС», направленное на формирование единого рынка семян в рамках ЕАЭС.

Для унификации применяемых в странах ЕАЭС методик определения сортовых качеств семян были созданы единые для государств-членов ЕАЭС «Методика по проведению апробации семенных посевов сельскохозяйственных растений» и «Методика проведения грунтового контроля».

Данные методики были утверждены решением Совета Евразийской экономической комиссии №10 от 30 января 2020 года. В действие данное соглашение вступило 1 января 2022 года. С этого момента все партии семян, предназначенные к обороту в рамках ЕАЭС, подлежат апробации и грунтовому контролю в соответствии с новыми методиками.

Единая методика проведения полевой апробации максимально унифицирована с международной методикой полевой апробации по схемам OECD и охватывает сразу все сельскохозяйственные растения. От использующихся в настоящее время в большинстве стран методик проведения полевой апробации она отличается отсутствием необходимости проводить отбор растений для анализа. При использовании данной методики осмотр растений проходит на пробных площадках, а определение соответствия сортовой чистоте посева проводится по табличным материалам.

В «Методике по проведению апробации семенных посевов сельскохозяйственных растений» предложены минимально допустимые требования к сортовой чистоте семян сельскохозяйственных растений, нормы пространственной изоляции.

«Методика по проведению полевой апробации» и «Методика проведения грунтового контроля» предназначены для оценки сортовых качеств семян всех сельскохозяйственных культур, производимых в странах ЕАЭС и поступающих в международную торговлю. В них также приведены образцы документов, используемых при проведении апробации посевов и грунтового контроля партий семян сельскохозяйственных растений и оформлению их результатов.

3.8. СЕЛЕКЦИЯ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В ЛАБОРАТОРИИ СЕЛЕКЦИИ ГЕНЕТИКИ И СЕМЕНОВОДСТВА ИМ. П.И. ЛИСИЦЫНА.

Люпин важная бобовая культура. Из четырех видов которые пригодны для возделывания в сельскохозяйственном производстве, в настоящее время коммерческое значение имеют два: *Lupinus albus* L. и *Lupinus angustifolius* L. Основным критерием, обеспечивающим важность культуры для производства, является высокое содержание белка (40 % и 35 % соответственно) (Анохина и др., 2012). История селекционной работы по созданию сортов люпина узколистного началась в 80-е годы прошлого столетия. Вначале была заложена коллекция, затем применили метод мутагенеза для получения новых форм люпина узколистного. Семена обрабатывали гамма-лучами (С₆₀) за три недели до посева. Доза 250 Гр при мощности дозы 0.263 Гр/мин. Одним из основных селекционных направлений было - уменьшение длины вегетационного периода. За основу был взят наиболее распространенный в то время сорт Немчиновский 846.

Этот сорт отличался относительной скороспелостью и невысоким содержанием алкалоидов. Но индетерминантный тип ветвления и признак «растрескиваемость бобов» нуждались в улучшении. После обработки физическим мутагеном популяция была высеяна в поле. В последующие годы из популяции 5М2 были отобраны две мутантные формы, отличающиеся по типу ветвления. Одна форма (5М2-252) имела блокировку боковых ветвей на главном стебле генеративными органами, а другая (5М2-253) – фасциацированный стебель. Так был получен детерминантный сорт Ладный (1992 г.), визитной карточкой которого были: скороспелость; низкое содержание алкалоидов (Аникеева, Конорев, 2002; Коновалов и др., 1985). Он стал практически первым в мире коммерческим сортом, имеющим «злаковый тип» стебля. Данный образец используется в качестве донора таких важных хозяйственно-ценных признаков как скороспелость и безалкалоидность. В дальнейшем направление селекции узколистного люпина основывалось на улучшении сорта Ладный. Сотрудничество с отделом селекции зернобобовых культур ФИЦ «Немчиновка» было очень плодотворным. Обмен селекционным материалом дал хорошие результаты. Появился устойчивый тренд направления селекции люпина узколистного на создание зернофуражных сортов с измененным габитусом растения. Была проведена работа по введению гена нерастрескиваемости и повышению высоты растения в целом (до 70см) и прикрепления нижнего боба. Так появились сорта Денлад, Деко 1, Деко 2. Последний был внесен в Государственный Реестр селекционных достижений допущенных к использованию в сельскохозяйственном производстве в 2012 году. Кроме зернового направления использования детерминантных сортов, уделялось внимание селекции на универсальное использование узколистного люпина. В данном случае речь идет об сидеральных сортах. И хотя при возделывании в качестве люпина-сидерата, предпочтение отдается ветвистым сортам, мы предлагаем образцы с ограничением габитуса на ветвях первого порядка. В приоритет использования данных сортов можно отнести стабильное

получение семян в зоне использования сидеральной культуры. Очередным сортом, внесенным в Госреестр стал сорт Куршавель (2019г). Этот образец имеет сидеральное направление использования, что является важным в плане биологизации сельскохозяйственного производства. Новый сорт отличается быстрым начальным ростом и коротким периодом всходы - цветение. Поэтому может использоваться в качестве сидерата и промежуточной культуры. Данный сорт уникален сверхбыстрым темпом начального роста, что очень хорошо позволяет бороться с сорняками в посевах монокультуры. Этот положительный эффект может быть применен при использовании люпина в органическом земледелии. Говоря о направлениях селекционной работы, следует отметить, что в последние 5 лет был увеличен спектр культур, по которым она проводится. Особенно стоит отметить направление селекции на создание сортов люпина белого с пониженным содержанием алкалоидов в зерне. Эта работа проводилась совместно с лабораторией цитогенетики Белорусского государственного университета. Селекционная задача была определена потребностью переработчиков зерна люпина. В последнее время использование люпина, как компонента, улучшающего качество продуктов питания активно развивается. Но сорта люпина используемые в производстве, не полностью соответствуют параметрам качества. Лимитирующим фактором в данном случае является содержание алкалоидов в зерне. Международные стандарты находятся на уровне 0.03%, а в российских сортах товарное зерно содержит от 0.05% алкалоидов и выше. Базовым образцом для создания низкоалкалоидной формы люпина белого был взят сорт советской селекции Пищевой. После обработки семян мутагеном и пересевом были проанализированы популяции М1-М3 по признаку «содержание алкалоидов в семенах» и отобраны несколько растений с низкими показателями. Они были размножены и прошли исследования на комплекс хозяйственно-ценных признаков. Лучший по результатам оценки образец готовим к передаче для государственного сортоиспытания. Эффективность работы по созданию новых сортов тесно

связана с применяемыми селекционными технологиями. Поэтому совершенствование старых и разработка новых приемов и методов поиска продуктивных растений люпина является одной из основных задач селекционера. Начиная с выделения первых детерминантных форм люпина узколистного, идет работа по выявлению оптимальной архитектоники растений, способствующей проявлению максимальной и стабильной семенной продуктивности (Коновалов и др., 1989). В настоящее время заканчиваются исследования по разработке дополнительных критериев при отборе элитных растений «злакового» типа. Кроме этого, проводятся опыты по повышению селекционными методами азотфиксирующей способности у люпина узколистного. Были проведены оценки уровня симбиотического эффекта, как у детерминантных форм, так и у индетерминантных. Отмечена сортоспецифичность по исследуемому признаку и отобраны образцы для участия в селекционной программе по схеме «сорт-штамм». Высокая эффективность новых сортов невозможна без работы по их размножению. Семеноводческая работа по производству семян сортов люпина узколистного ведется чаще всего с применением массового отбора. Но на начальных этапах внедрения сорта в производство, как правило это первичное семеноводство, используется индивидуальный отбор. Такой же цикл повторяется через каждые 5 лет использования нового сорта в производстве. Основной целью этой работы является контроль за содержанием алкалоидов в семенах. Товарное семеноводство люпина проводится через систему основанную на выдаче неисключительных лицензий на производство семян категории «репродукционные семена». Хозяйства-кандидаты проходят тщательный отбор по комплексу требований, касающихся, как финансовой стороны деятельности, так и семеноводческой работы. Данные отношения между патентообладателем и производителем семян позволяют возместить часть средств потраченных на создание сорта люпина. Это происходит через механизм выплаты роялти-вознаграждения за селекционное достижение.

В последнее время отдел селекции и семеноводства люпина обратил внимание на такую важную с/х культуру, как соя. Имея большой опыт в продвижении люпина узколистного в северные районы нечерноземной зоны РФ, мы надеемся, проведя селекционную работу на основе результатов молекулярно-генетических исследований, получить положительный результат. Это будет детерминантный сорт сои – нейтральный к длине дня и со стабильной урожайностью на уровне 25-30 ц/га при возделывании в центральных районах Нечерноземья.

Мировое сельское хозяйство активно развивает органическое земледелие. В России оно еще не настолько популярно, как в мире. Но уже есть определенный положительный тренд в этом направлении. Люпин может занять определенную нишу в производстве экологически чистой продукции. Это связано с определенными особенностями культуры, и прежде всего с азотфиксирующей способностью (Konorev, 2021). Особенно хорошо подходят для этого направления использования сорта люпина имеющие «злаковый тип» стебля. Этот признак позволяет, за счет уплотнения густоты стояния растений бороться с сорняками в «органик» посевах. Ведется разработка технологического процесса получения семян люпина узколистного для органического земледелия.

4. ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

4.1. АКТУАЛЬНЫЙ ФИТОСАНИТАРНЫЙ МОНИТОРИНГ НЕКОТОРЫХ ВРЕДНЫХ ОРГАНИЗМОВ НА КАРТОФЕЛЕ

Картофель является основной пищевой, кормовой и технической культурой во многих странах мира, характеризуется большой продуктивностью. На данной культуре широко распространены грибные, бактериальные, вирусные болезни, включая карантинные объекты, а также насекомые-фитофаги. Получение высоких урожаев картофеля предусматривает снижение потерь от вредителей и болезней. Для организации эффективных защитных мероприятий против таких вредных организмов, безусловно необходимы достоверные методы их идентификации и мониторинговые обследования (Ахатов и др., 2006; 2013; Баздырев и др., 2014; Белошапкина и др., 2020; Колычихина, Белошапкина, 2017; Смирнов и др., 2022).

Альтернариоз, как и фитофтороз являются микозами, наносящими существенный ущерб картофелеводству (Смирнов и др., 2019). На фоне определенных метеоусловий фитопатогенные грибы способны объединяться в патокомплексы, создавая при этом проблемы для возделывания картофеля. В Нечернозёмной зоне поражения листьев картофеля вызывают и другие патогены, в том числе бактериальной и фитоплазменной природы. Реакция сортов картофеля на инфицирование неодинакова несмотря на то, что практически все они при инфицировании снижают урожай и крахмалистость клубней.

Поражённость вирусными болезнями ведет к вырождению сортов и снижению урожая. Степень снижения урожайности картофеля для наиболее распространенных вирусов зависит от вида вируса, сорта и особенностей технологий выращивания картофеля, климатических условий (Григорян,

Ткаченко, 2019; Рогозина и др., 2016). При комплексных инфекциях потери резко возрастают (Игнатов и др., 2019). При скрытых формах инфекции также отмечается патологическое воздействие вирусов на растение.

4.1.1 Исследование грибного патокомплекса на листьях картофеля в некоторых регионах России

На основании фитопатологического анализа образцов побегов картофеля с хлорозами и некротизированными тканями (рис. 4.1.1-4) отобранных образцов был установлен патогенный комплекс грибов, наиболее часто поражающих посадки картофеля в некоторых регионах России (Смирнов и др., 2015) (табл. 4.1.1).

В образцах отмечали многочисленные макроконидии, они были бесцветные, палочковидные и изогнутые по форме из нескольких клеток в скоплении или одиночные с примесью микроконидий, состоящих из одной или нескольких клеток такой же формы (рис. 4.1.5-8,11). Установлено, что они принадлежали роду *Fusarium*. Идентификация до вида у грибов данного рода очень затруднена из-за сложностей в систематике и таксономии анаморфных грибов в целом, а также сумчатых грибов, имеющих анаморфы в виде рода *Fusarium*.



Рисунок 4.1.1 – Фрагменты листьев картофеля сорта Невский, поражённые фузариозом (г. Москва, 2014 г.).



Рисунок 4.1.2 – Стебель картофеля, поражённый фузариозом (г. Москва).



Рисунок 4.1.3 – Стебель картофеля из Новгородской области поражённый фузариозом (Уклеино, Новгородская обл.)



Рисунок 4.1.4 – Стебель картофеля сорт неизвестен из Пермского края поражённый фузариозом (Красновишерск, Пермский край)

Таблица 4.1.1

Встречаемость обнаруженных конидий фитопатогенных грибов в разных регионах России, шт/мм²

Место отбора образцов	<i>Fusarium</i> (макроконидии)	<i>Fusarium</i> (микроконидии)	<i>Alternaria</i>	<i>Arthrobotrys</i>	<i>Arthrinium</i>	<i>Episocin</i>
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва)	280	240	3	-*	-	-
Дедилово (Тульская обл.)	2	37	12	-	-	-
Порздни (Ивановская обл.)	9	11	18	-	-	-
Уклеино (Новгородская обл.)	28	34	4	-	-	-

Санкт-Петербург (Ленинградская обл.)	6	9	12	-	-	-
Суздаль (Владимирская обл.)	420	510	17	-	24	-
Красновишерск (Пермский край)	-	3	3	7	-	10

*- не обнаружены в данном образце.

Нами выявлено 6 видов грибов рода *Fusarium*: *Fusarium solani* (Mart.) Sacc, *Fusarium culmorum* (W.G. Sm) Sacc, *Fusarium graminearum* Schwabe, *F. avenaceum* (Fr.) Sacc, *Fusarium sambucinum* Fuckel., *Fusarium oxysporum* Schltdl. Данные виды встречались во всех исследованных локациях. В ЛЗР РГАУ-МСХА преобладал *F. graminearum*, в окрестностях Суздаля (Владимирская область) – *F. avenaceum*, в остальных локациях преобладали *F. oxysporum* и *F. solani*. Отметим, что для дальнейшего уточнения видового и штаммового состава возбудителей фузариозного увядания картофеля в исследуемых регионах необходимы дополнительные исследования с использованием молекулярных методов с использованием ДНК-маркеров и маркеров токсинообразования (Белошапкиная, 2001).

В аналогичных исследованиях, проводимых в Татарстане с 2013 г. с использованием биоморфологических и молекулярных методов диагностики, были обнаружены данные виды грибов рода *Fusarium*, вызывающие фузариозное увядание картофеля (Замалиева и др., 2015).

Отметим, что и по симптоматике, и по структуре патоконтекста динамика выявленного заболевания отличалась от вертициллезного увядания картофеля. Последнее может иметь некоторые сходные симптомы (Зейрук и др., 2020). Тем не менее, есть основания полагать, что грибы рода *Verticillium*, характеризующиеся латентным развитием и значительным биопотенциалом, могли вносить некоторый вклад в этиологию увядания картофеля на территории ЛЗР в 2014 г (Приходько и др., 2015; Смирнов, Приходько, 2019). Это связано с тем, что в некоторых клубнях увядающих растений обнаружили грибы рода *Verticillium*.

Характерные конидии грибов рода *Alternaria* отмечены во всех регионах (рис. 4.1.6,9,10,12). Они в основном соответствовали полиморфному мелкоспоровому виду *A. alternata* (Fr.) Keissl., с примесью мелкоспорового вида *A. tenuissima* Wiltshire, а также крупноспорового вида *A. solani* Sorauer. Мелкоспоровые виды довольно плохо отличались друг от друга по биоморфологическим и молекулярным маркерам. Но они отличались от крупноспорового вида, в том числе – по устойчивости к фунгицидам.

Проведенные исследования наземных органов картофеля показали, что большинство микро- и макроконидий гриба *Fusarium* обнаружено в образцах из Москвы и Владимирской области, но отмечалась малая встречаемость конидий возбудителя альтернариоза. В новгородских, ивановских и ленинградских образцах количество микро- и макроконидий грибов рода *Fusarium* и *Alternaria*, а в образцах Пермского края встречаемость конидий грибов *Fusarium* и *Alternaria* была редкой (табл. 4.1.1).

В посадках картофеля Тульской, Новгородской, Владимирской областей в патоккомплексе преобладал фузариум, а альтернария представлена в меньшем количестве. Наибольшее количество фузариума выявлено в образцах картофеля из Суздаля (420 макроконидий/мм² и 510 микроконидий/мм²).

В образцах картофеля из Уклейно (Новгородская область) число конидий в патоккомплексе достигало 62 шт/мм², а альтернарии 4 шт/мм². В образцах Дедилово (Тульская область), соответственно, 39 шт/мм² и 12 шт/мм². Высокая численность конидий фузариума выявлена и в образцах растений отобранных из лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Их численность достигала макроконидий 280 шт/мм², а микроконидий 240 шт/мм², а альтернарии – 3 шт/мм².

В образцах картофеля из Порздни (Ивановская область) и Санкт-Петербурга патоккомплекс представлен практически в равной степени рода *Fusarium* и *Alternaria* 20 и 18 шт/мм²; 15 и 12 шт/мм².

Таким образом, в этих пунктах патоконкомплекс представлен в основном двумя патогенами. В Суздале помимо этих патогенов выявлены грибы рода *Arthriniium* (рис. 4.1.8), численность конидий которого составила 24 шт/мм², а в Красновишерске также выявлены грибы рода *Arthrobotrys*, обычно паразитирующие на нематодах (рис. 4.1.13), конидий было 7 шт/мм² и *Epicossum* (рис. 4.1.14) 10 шт/мм² (табл. 4.1.1).

На основании этих данных можно сказать, что в исследуемых локациях Нечерноземной зоны Европейской части патоконкомплекс в основном представлен грибами рода *Fusarium* и в меньшей части грибами рода *Alternaria* (Смирнов, Приходько, 2019). Изучение репродуктивного потенциала комплекса данных грибов имеет большое эпидемическое значение (Смирнов и др., 2019).



Рисунок 4.1.5 – Скопление макроконидий Fusarium (Москва, ЛЗР РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).



Рисунок 4.1.6 – Скопление микро- и макроконидий Fusarium, а также конидий гриба Alternaria (Москва, лаборатория защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).

В результате проведенных исследований было выявлено, что полегание растений картофеля вызывает патоконкомплекс *Fusarium* sp. – *Alternaria alternata*. Это подтверждено кластерным анализом регионов, из которых брали образцы некротизированных стеблей и листьев картофеля, по встречаемости родов фитопатогенных грибов. Москва и Суздаль, где преобладали грибы

рода *Fusarium* и наблюдали максимальное проявление трахеомикозного увядания растений картофеля, кластеризовались совместно и независимо от других регионов (рис. 4.1.15).

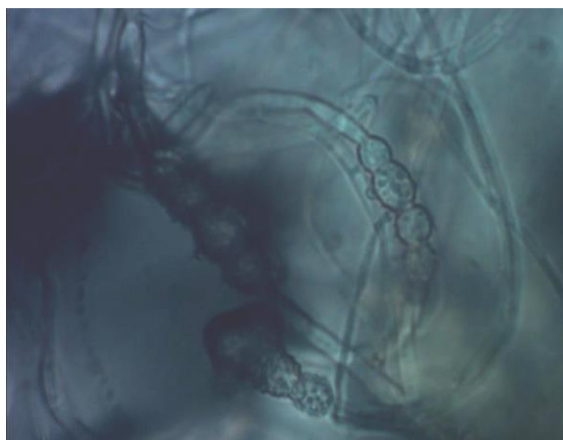


Рисунок 4.1.7 – Хламидоспоры в цепочке *Fusarium* (Москва, лаборатория защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).

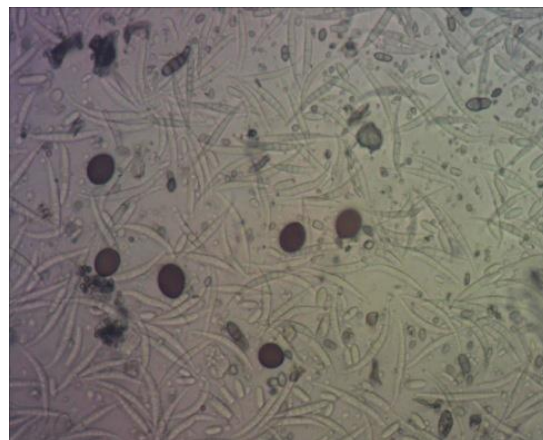


Рисунок 4.1.8 – Скопление макро-микроконидий *Fusarium* и хламидоспор *Alternaria*, конидий гриба *Arthriniium* (Владимирская обл., Суздальский р-н, п. Новый).

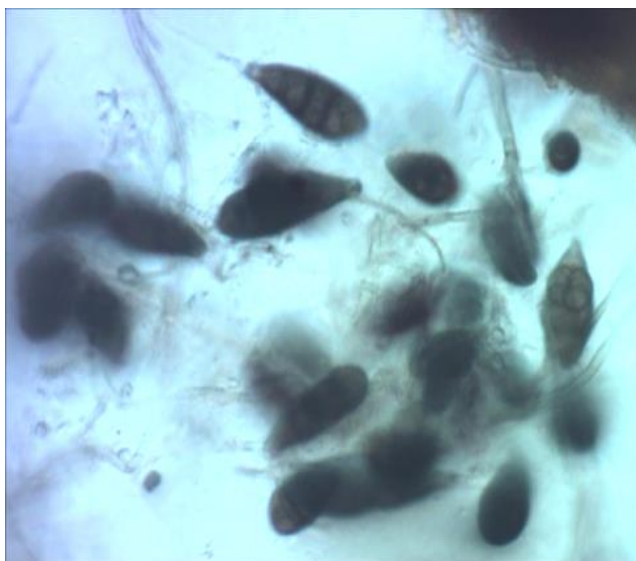


Рисунок 4.1.9 – Скопление конидий *Alternaria* (Пермский край, Красновишерск).



Рисунок 4.1.10 – Конидии и хламидоспоры *Alternaria* (Ивановская область, д. Порздни).

В результате проведенных исследований было выявлено, что полегание растений картофеля вызывает патоккомплекс *Fusarium* sp. – *Alternaria alternata*. Это подтверждено кластерным анализом регионов, из которых брали образцы некротизированных стеблей и листьев картофеля, по встречаемости

родов фитопатогенных грибов. Москва и Суздаль, где преобладали грибы рода *Fusarium* и наблюдали максимальное проявление трахеомикозного увядания растений картофеля, кластеризовались совместно и независимо от других регионов (рис. 4.1.15).



Рисунок 4.1.11 – Макро- и микроконидии *Fusarium*
(Новгородская область, д. Большое Уклейно).



Рисунок 4.1.12 – Конидия *Alternaria* (Ленинградская область, близ Санкт-Петербурга).

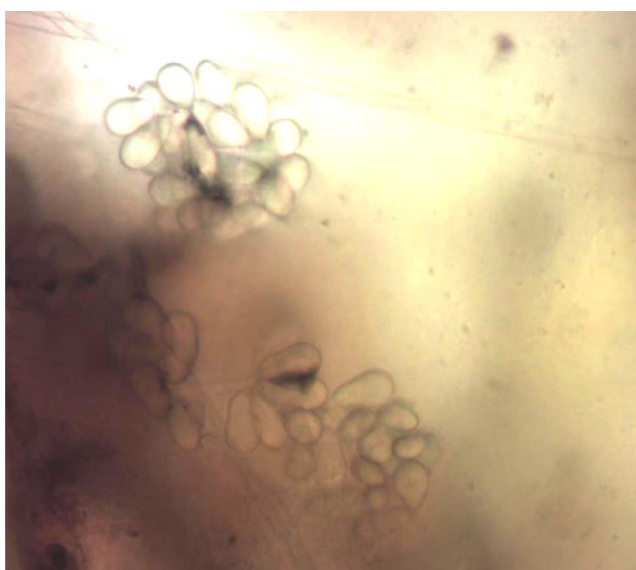


Рисунок 4.1.13 – Конидиальное спороношение *Arthrobotrys*
(Пермский край, Красновишерск).

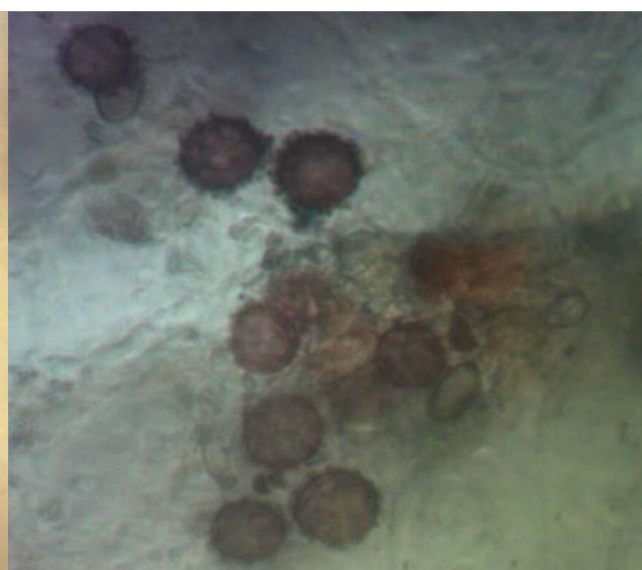


Рисунок 4.1.14 – Конидии *Epicoccium*
(Пермский край, Красновишерск).

Другие регионы объединялись в другой кластер, характеризующийся редкой встречаемостью грибов рода *Fusarium* при довольно низкой встречаемости остальных родов фитопатогенных грибов.

Погодные условия в Московском регионе и Вологодской области в отличие от 2014 г. в 2019 г., были довольно сухими в течение третьей декады мая – второй декады июня, далее периодически было влажно, ГТК достигал значений 1,2-1,5. Во второй половине августа и начале первой декады сентября в отдельные сутки количество осадков уменьшилось, максимальная температура возросла до 27°C.

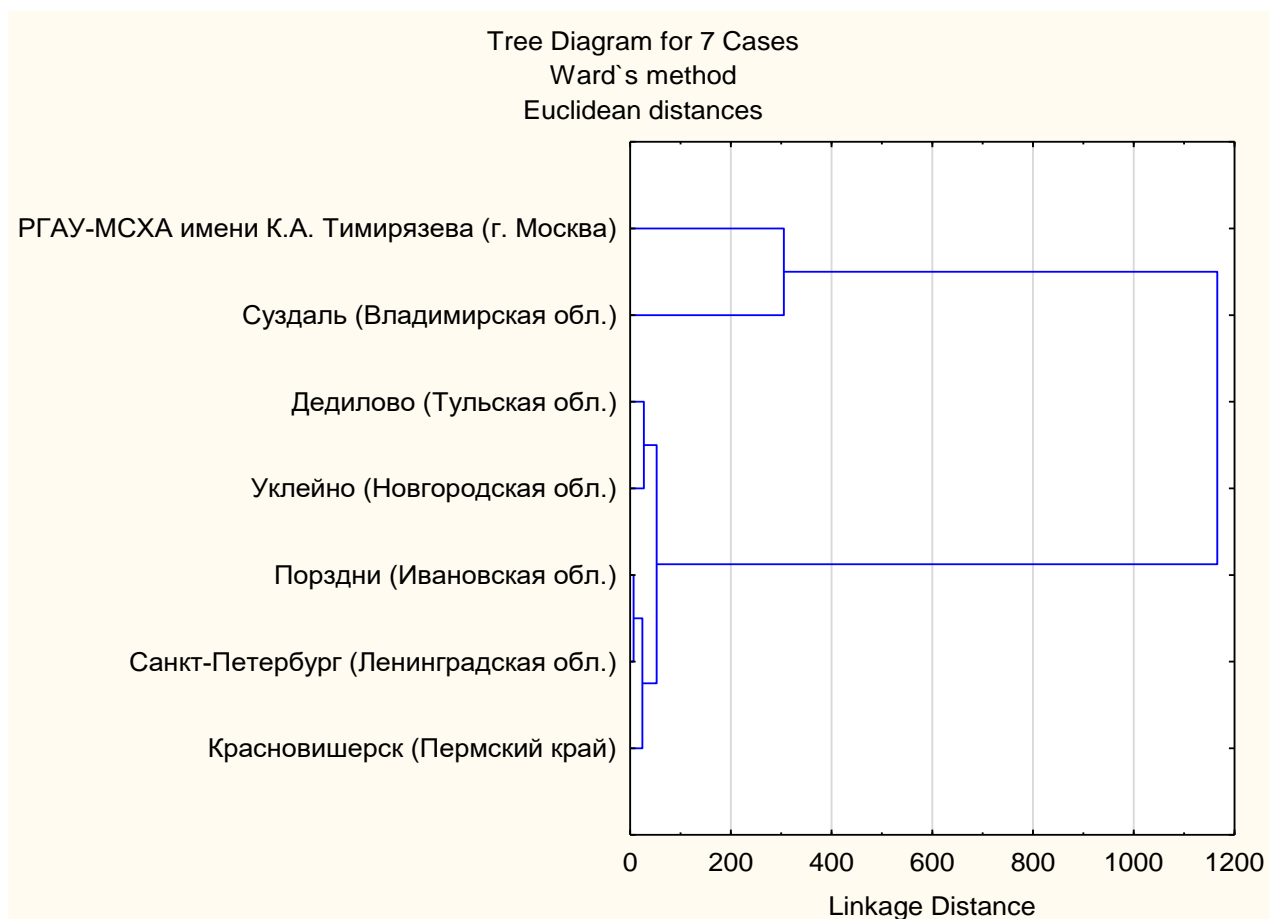


Рисунок 4.1.15 – Кластеризация посадок картофеля в различных регионах Российской Федерации, где были проведены отборы образцов, по встречаемости патогенов

Данные условия в июле не привели к развитию какого-либо увядания картофеля на территории ЛЗР РГАУ-МСХА. К концу августа листва начала увядать, на ней обнаружили конидии грибов рода *Fusarium*, *Alternaria*, *Phoma* и других родов. В Московской области обнаружили значительное развитие удущья клубней, в начале проявления, по которому развивались бактериозы и микозы (фитофтороз, сухая фузариозная гниль, фомоз, антракноз). В

Вологодской области, также наблюдали альтернариоз вегетирующих растений, а также симптомы удущья клубней, на фоне которых развивались аналогичные микозы. Эта ситуация вела к массовым гнилям и деструкции клубней, очень значительным потерям урожая картофеля (рис. 4.1.16).

В 2020 г. начало вегетационного сезона было холодным и влажным, ГТК достигал 4,5. Аналогичные периоды были в его середине и в конце. Наши дополнительные исследования, проведенные в Московской области, выявили, что после развития альтернариоза и фузариоза клубни были поражены ризоктониозом (рис. 4.1.18,19). Это привело к существенным потерям урожая картофеля на нескольких полях.

В 2021 и 2022 гг. в Московской области (Зарайский и Мытищинский районы) на разных сортах картофеля показано, что при севообороте по пару или орошении в засушливые периоды развитие совместное развитие альтернариоза и фузариоза на фоне контрастных погодных условий (сопряженное трахеомикозное увядание картофеля; СТУК) было полностью предотвращено. Зарегистрировали значительное развитие альтернариоза (до 50%) и минимальное – фузариозного увядания (не более 3-5%). Нормированное орошение следует рассматривать, как один из агроприемов защиты картофеля от вспышек развития трахеомикозных увяданий, имеющих источник инфекции в почве.

Тестирование на вирусы проводили иммуноферментным анализом (ИФА) методом сэндвича и двойной диффузией в агаре; использовали диагностические сыворотки в основном производства ВНИИКХ. Для результатов ИФА использован автоматический абсорбциометр фирмы DYNATECK.



*а) Московская область,
2019. Мокрая гниль и
удушье клубней на фоне
разрастания и
потемнения чечевичек,
общий вид.*



*б) Московская область,
2019. Мокрая гниль и
удушье клубней на фоне
разрастания и
потемнения чечевичек,
крупным планом.*

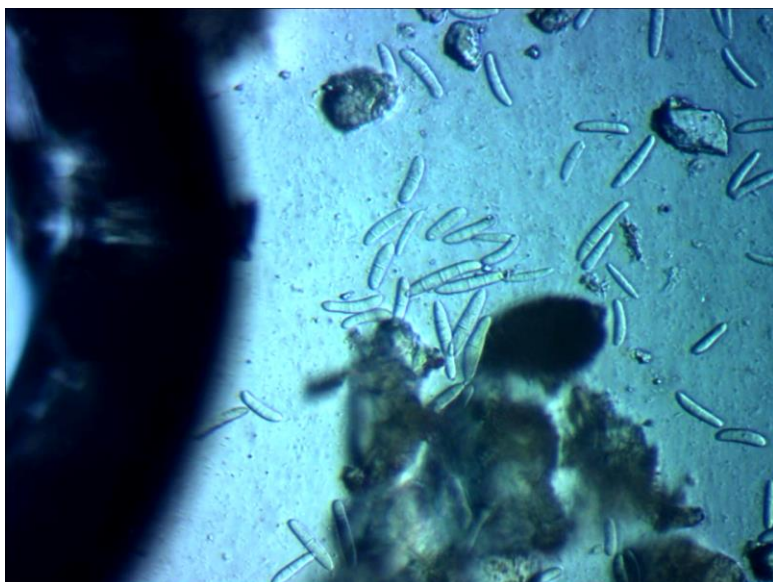


*в) Вологодская область,
2019. Налеты и мокрая
гниль клубней картофеля.*



*г) Вологодская область,
2019. Мокрая гниль
клубней картофеля.*

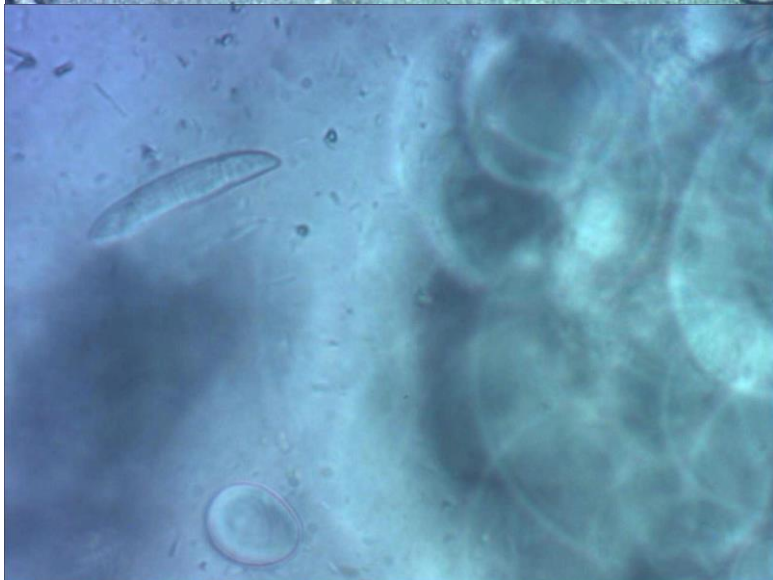
Рисунок 4.1.16 – Симптомы поражения клубней картофеля комплексной гнилью в Вологодской и Московской областях



а) Макроконидии грибов
рода *Fusarium*



б) Конидия грибов рода
Alternaria

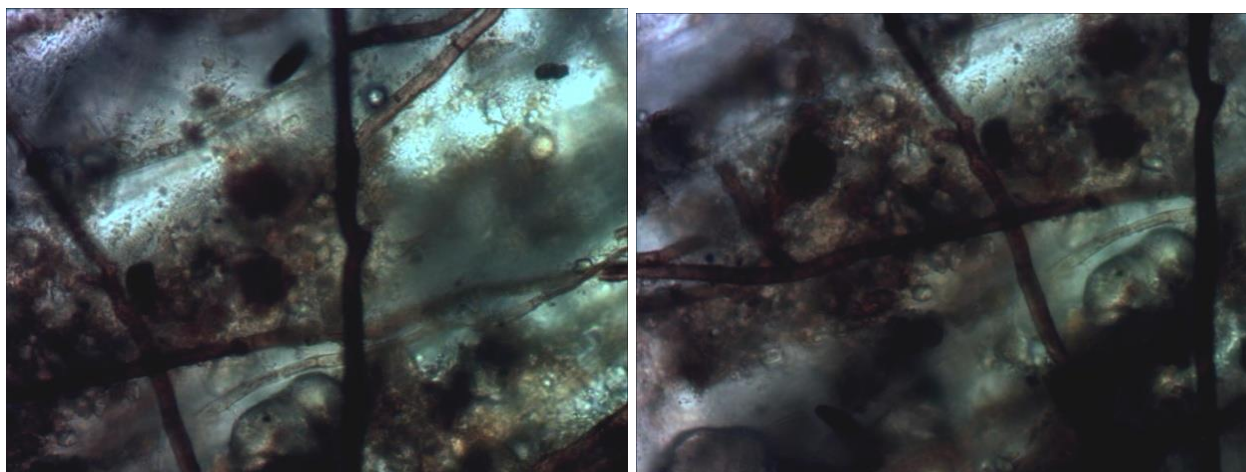


в) Макроконидия грибов
рода *Fusarium*

Рисунок 4.1.17 – Конидии грибов, обнаруженные в тканях картофеля в Вологодской области в сентябре 2019 г



Рисунок 4.1.18 – Остатки картофеля, пораженного ризоктониозом, Московская область, сентябрь 2020 г



*Рисунок 4.1.19 – Мицелий грибов *Rhizoctonia solani* в усохших листьях картофеля, Московская область, сентябрь 2020 г*

4.1.2 Оценка инфицированности различных сортов картофеля вирусами, нематодами и их ассоциациями на вегетирующих растениях

Для диагностики вирусов картофеля родов *Carla* (S и M) и *Potex* (X) использовали молекулярно-биологический метод – полимеразную цепную реакцию (ПЦР) (Малько и др., 2017). Выделение РНК из растительных тканей и ОТ-ПЦР анализ вирусов в листьях растений картофеля проводили в лаборатории молекулярной биологии Института сельскохозяйственной биотехнологии, с использованием вырожденных праймеров фирмы Синтол (г. Москва). Праймеры: для карла-группы (S, M): Car F-47 - 15.6 pM/mkl (16,0+9,0 вода) Car R-52 - 30.7 pM/mkl, (8,1+16,9 вода), для потекс-группы (X): Pt2A-50-69–18.4 pM/mkl (13,6+11,4 вода) Pot R 348-67 – 16.2 pM/mkl (15,4+9,6 вода). Режимы температуры при проведении ПЦР на этапе амплификации подбирали экспериментально.

Всего за период исследований осуществлено свыше 10000 вирусологических анализов.

Оценку инфицированности вирусами вегетирующих растений картофеля проводили как на базе вышеназванных организаций, так и в условиях различных мелкоделяночных и вегетационных опытов на базе ИНПАРАН, РГАУ-МСХА, ВНИИКХ, МСП «Измайловский» и ЗАО «Север» Талдомского р-на Московской области в период с 2000-2002, в 2012-2018 гг.

Изучение динамики инфицированности различных сортов картофеля вирусами и их ассоциациями проводили в разные периоды в условиях мелкоделяночных опытов (ИНПАРАН, ВНИИКХ, РГАУ-МСХА 2000-2018 гг.) и в производственных условиях, в т.ч. в начале 2000-х гг. на картофельных полях совхозов «Измайловский» и «Север» в Талдомском районе Московской области с использованием метода серологического тестирования (табл. 4.1.2).

По всем исследуемым сортам наблюдали заметное возрастание числа пораженных вирусами растений во второй срок учета. Так, количество

пораженных растений вирусом TRV увеличивалось в зависимости от сорта в 2-5 раз, вирусом X – в 1,5-6 раз и т.д. Причинами роста пораженности растений картофеля помимо клубневой инфекции также следует считать наличие в почве нематод переносчиков вирусов в случае вируса TRV и крылатых переносчиков присутствующих в производственных условиях для полевых условий. Помимо названных в таблице распространенных вирусов нами были выявлены и другие виды вирусы, несвойственные для картофеля: AMV, TomBRV, TomRSV, TobRSV, TobNV, CMV, TobMV. Наиболее распространенными ассоциативными комплексами вирусов на картофеле были следующие: X+S, X+S+M, X+S+M+L, X+TRV, X+AMV, AMV+TRV+L(табл. 4.1.3).

Таблица 4.1.2

Оценка инфицированности вирусами и их ассоциациями различных сортов картофеля после высадки в открытый грунт через 30 и 60 дней (Талдомский район Московской области, 2000)

Сорт, категория	Распространенность вирусов (%).						
	Сроки отбора образца	X	Y	S	M	L	TRV
Луговской	15.06.00	14,3	5,1	14,3	32,0	29,9	12,2
	15.07.00	95,8	29,1	89,1	100	93,1	26,1
Невский	15.06.00	18,2	11,3	19,5	30,1	26,2	9,6
	15.07.00	39,2	29,2	36,1	45,1	41,9	32,9
Майдас	15.06.00	15,1	9,1	13,3	16,0	14,3	8,9
	15.07.00	22,2	13,7	19,9	24,36	23,2	18,1
Истринский	15.06.00	9,1	0	7,0	9,9	8,7	1,0
	15.07.00	17,3	3,3	14,2	20,0	18,3	3,2
Романо	15.06.00	6,03	0	3,1	4,2	4,6	1,0
	15.07.00	9,1	1,6	5,0	9,7	7,4	6,1
Орбита	15.06.00	41,0	13,1	37,2	43,1	38,9	22,5
	15.07.00	100	36,2	88,1	100	100	46,9

Последняя комбинация вирусов (AMV+TRV+L) и ряд других выявлены нами на сортах и участках, зараженных нематодами переносчиками непотобра- вирусов (*Xiphinema diversicaudatum* и *Paratrichodorus teres* и др.).

В 2015 году в Липецкой области в процессе вирусологического анализа листовых проб, отобранных в фазу полных всходов, было выявлено, что в

этом регионе на картофеле сорта Рамос доминировал Y вирус картофеля. Его распространенность в целом на поле в 2015 г. составила 10 %, в 2016 г. – 15 %. Вирусы M и S были обнаружены не в виде моноинфекции, а в комплексе PVM+PVS с распространенностью 19% в 2015 г. и 27% в 2016 г. Были отмечены выраженные симптомы вирусной инфекции в виде морщинистости и деформации листьев, недоразвитости растений и их карликовости.

В Астраханской области в 2016 году при проведении обследований и отборе листовых проб по результатам ИФА было установлено, что доминирующими вирусными комплексами на сорте Импала практически в равных долях были PVM+PVS – 24% и PVM+PVS+PVY – 21% (моноинфекция обнаружена не была).

В хозяйстве Московской области в 2018 году был проведен рендомизированный отбор 150 клубней картофеля сорта ВР-808, предназначенных для посадки, с целью определения уровня их инфицированности и видового состава вирусов. Анализ семенного материала картофеля проводили методом ИФА тканей этиолированных проростков клубней. Исходный процент заражения посадочного материала сорта ВР-808 Y-вирусом картофеля составлял 23,3%. Процент положительных по результатам ИФА образцов растений, отобранных в фазу полных всходов, был принят за исходное значение распространенности Y вируса в поле и составил – 31%. На 38,3% вегетирующих растений среди симптомов преобладали сильная кустистость и деформация листьев, также отмечали мозаичность, а затем некротические пятна на листьях.

Также в 2018 году был проведен анализ клубней картофеля сортов Жуковский ранний, Сантэ, Удача в рамках проведения мониторинга инфицированности посадочного материала в хозяйствах Московской области (табл. 4.1.4).

Оценка видового состава вирусо-нематодного комплекса на различных участках и сортах картофеля в условиях Москвы и Московской области (2000-2002 гг.)

Сорт, категория, участок	Пораж. вирусами, %	Виды вирусов	Ассоциации вирусов	Виды нематод-векторов
Луговской, ИНПАРАН	100	TRV, M, S, L	R+M+S+L, M+L	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similis</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i>
Невский, ИНПАРАН	100	X, M, L, Y	Y+M+L, M+L, X+M+L	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similis</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i>
Маидас, ИНПАРАН	57,15	X, M, L	X+M+L	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similis</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i>
Бербанк, ВНИИКС	100	TRV, L, M, S, X, AMV, TBRV	R+L, R+M, R+L+M+S, X+R, AMV, TBRV+L	<i>Trichodorus similis</i> , <i>Longidorus elongates</i>
Истринский, ИНПАРАН	69,3	AMV, TRV, L, X, M, CMV, TomR SV, TobRSV	AMV+R+L, M+L, R+L, X+L, X+M+L	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similis</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i>
Романо, МСП Измайловский	100	X, M, L, CMV TobMV, Tob NV AMV	X+M+L, M+L	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similes</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i> , <i>Longidorus elongates</i>
Орбита, МСП Измайловский	100	X, M, S, L, TRV CMV, TomR SV, TobRSV	X+M+S+L, X+S+L, TRV+ X+M+TRSV+ CMV	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similis</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i>
Майдас, ИНПАРАН	100	AMV, TRV, L, X, M, CMV, TomR SV, TobRSV	X+M+L, M+L, X+M	<i>Paratrichodorus teres</i> , <i>Trichodorus similis</i> , <i>Xiphinema diversicaudatum</i> <i>Longidorus elongates</i>
Романо, Талдом. р-н, Моск. обл.	48,0	X, M, L, TRV, TBRV	X+M, M+L+TRV	Не обнаружены

Оценку инфицированности клубней картофеля вирусами и их ассоциациями проводили различных сортах (в т.ч. Луговской, Невский, Майдас, Романо, Орбита, Бербанк) разных категорий качества (суперэлита, элита, элита-1Р и рядовой) из хранилищ ИНПАРАН (партия 1), АО “Дока-

генные технологии” (Зеленоград, Москва) (партия 2), ОПХ ВНИИКХ (пос. Коренево Люберецкого района Московской области) (партия 3) и МСП «Измайловский» Талдомского района Московской области (партия 4).

Таблица 4.1.4

Оценка степени инфицированности вирусами и их ассоциациями различных партий и сортов семенного картофеля

Сорт	% зараженности клубней
ЖУКОВСКИЙ РАННИЙ	87,5, из них (%): PVM – 35,7; PVS – 21,4; PVY – 28,6; PVS+PVY – 7,2; PVM+PVY – 7,2.
САНТЭ	81,3, из них (%): PVM – 38,5; PVS – 7,7; PVM+PVY – 53,8.
УДАЧА	75, из них (%): PVM – 25; PVS – 8,3; PVY – 25; PVS+PVM – 25; PVM+PVY – 16,7.

Клубни оценивали на наличие вирусов иммуно-ферментным анализом проростков разного возраста в два срока – через 30 и 45 дней после проращивания в стерильной почве в условиях строгой изоляции в теплице ИНПА РАН. На каждые 1-10 т картофеля оцениваемой партии отбирали по 150-200 клубней. Результаты оценки степени инфицированности вирусами и их ассоциациями различных партий и сортов семенного картофеля категории 1 репродукции при хранении приведены в табл. 4.1.5.

В процессе изучения инфицированности семенного материала (клубневая инфекция) различных сортов картофеля вирусами и их ассоциациями через 10 дней после появления первых всходов были выявлены следующие доминирующие вирусы и их комбинации: TRV (Tabacco Rattle Virus) отмечен на сортах Луговской (16,7%) и Истринский

(13%). Моноинфекция при этом не обнаружена. На сорте Луговской отмечены ассоциации: TRV + M + S + L и на сорте Истринский TRV + L. Вирусом X были поражены в разной степени сорта: Невский, Истринский, Орбита и Романо. Вирус M обнаружен в высокой степени пораженности клубней следующих сортов: Луговской (100%), Невский (100 %), Истринский (42,8%), Романо (14%) и Орбита (28,5%). Вирусом S были поражены клубни двух сортов: Луговской (16,7 %) и особенно Орбита (до 100 %). Вирус Y в семенном материале сортов Истринский и Романо не был обнаружен. Слабая фоновая концентрация вируса L отмечена в семенном материале всех исследуемых сортов (100%). Кроме того, в этот срок (через 10 дней после появления первых проростков) в процессе изучения ассоциаций (комбинаций) вирусов в семенном материале картофеля исследуемых сортов были выявлены следующие ассоциации вирусов: на сорте Луговской - TRV+M + S+L; M+L; на сорте Невский- M+L; X+M+L; на сорте Истринский- TRV+L, M+L, X+L, X+M+L; на сорте Романо - X+L+M и на сорте Орбита - X+M+S+L, X+S+L. Моноинфекция в этот срок не была обнаружена.

Таблица 4.1.5

Оценка распространенности (P%) вирусов и их ассоциаций различных партий и сортов семенного картофеля при хранении (ИНПРАН, 2000).

Сорт	AMV	X	Y	S	M	L	R	Ассоциации вирусов
Луговской	0	7,2	0	16,7	100	100	16,7	R+M+S+L, M+L
Невский	0	21,4	1	0	55,0	60,7	0	Y+M+L, M+L, X+M+L
Маидас	0	7,2	0	0	28,5	50	0	X+M+L
Бербанк	0	1,0	0	7,1	16,7	50	100	R+L, R+M, R+L+M+S, X+R
Истринский	0	57,1	0	0	21,4	42,9	7,2	R+L, M+L, X+L, X+M+L
Романо	0	70,0	0	10	14,0	100	0	X+M+L
Орбита	0	28,5	0	100	14,3	100	14,3	X+M+S+L, X+S+L
Майдас	0	7,1	0	0	78,5	100	0	X+M+L, M+L, X+M

Повторное серологическое тестирование клубней пророщенных в стерильной почве, через месяц после появления всходов (и через 45 дней

после высадки клубней в условиях строгой изоляции, (2-ой срок) позволило дополнительно выявить зараженность клубней вирусами TRV (1 растение сорта Орбита), вирусом Y (сорт Невский, 1 растение), вирусом X (1 растение) и комплексом вирусов Y+M+L (1 растение). Кроме того, на сорте Майдас (Элита 1 репродукции) выявлены растения пораженные комплексами вирусов X+M и M+L. Установлено, что четкая серологическая реакция на наличие вируса L, также как вирусов TRV, X и Y имеет место лишь на 30 день после появления первых проростков. По степени инфицированности клубней различными вирусами и их комбинациями сорта в значительной степени отличались. Наиболее инфицированными были десертные сорта типа Орбита и наименее – сорта, предназначенные для технической переработки - Романо и другие сорта отечественной и зарубежной селекции.

В 2018 году был проведен анализ клубней картофеля сортов Жуковский ранний, Сантэ, Удача в рамках проведения мониторинга инфицированности посадочного материала в хозяйствах Московской области (табл. 4.1.6).

Таблица 4.1.6

Оценка распространенности (P%) вирусов и их ассоциаций различных партий и сортов семенного картофеля при хранении (ИНПАРАН, 2000).

Сорт	% зараженности клубней
<i>Жуковский ранний</i>	87,5, из них (%): PVM – 35,7; PVS – 21,4; PVY – 28,6; PVS+PVY – 7,2; PVM+PVY – 7,2.
<i>Сантэ</i>	81,3, из них (%): PVM – 38,5; PVS – 7,7; PVM+PVY – 53,8.
<i>Удача</i>	75, из них (%): PVM – 25; PVS – 8,3; PVY – 25; PVS+PVM – 25; PVM+PVY – 16,7.

В 2018 году нами также был проведен рендомизированный отбор 150 клубней картофеля сортообразца ВР-808, предназначенных для посадки в хозяйстве Московской области с целью определения уровня их инфицированности и видового состава вирусов. Анализ семенного материала картофеля проводили методом ИФА тканей этиолированных проростков клубней. Исходный процент заражения посадочного материала сорта ВР-808 Y-вирусом картофеля составлял 23,3%. Процент положительных по результатам ИФА образцов растений, отобранных в фазу полных всходов, был принят за исходное значение распространенности Y вируса в поле и составил – 31%. На 38,3% вегетирующих растений среди симптомов преобладали сильная кустистость и деформация листьев, также отмечали мозаичность, а затем некротические пятна на листьях.

4.1.3 Характеристика выявленных вирусов и их ассоциативных комплексов и вызываемых ими симптомов на картофеле

За период проведенных исследований в посадках картофеля в условиях Московской области были выявлены 13 наиболее распространенных и опасных вирусов (X, S, M, Y, L, TRV, AMV, TomBRV, TomRSV, TobRSV, TobNV, CMV, TobMV). В результате идентификации с использованием серологического и биологического тестирования, электронной микроскопии и метода полимеразной цепной реакции были выделены изоляты моно- и комплексных инфекций, которые в последующем содержались в условиях вегетационных горшечных опытов в марлевых боксах в стерильной почве, и в лизиметрах, на инфекционном участке ИНПАРАН с соблюдением изоляции и обработок от крылатых и почвенных видов переносчиков и под постоянным ежедневным наблюдением за их отсутствием.

Вирус Y – возбудитель морщинистой и полосчатой мозаики. На жилках листьев преимущественно с нижней стороны их и в уголках между жилками

были заметны темно-коричневые штрихи и пятна. Вначале признаки поражения появлялись на нижних и средних листьях, затем - на верхних, в дальнейшем темно-коричневые штрихи распространяются на черешки и стебли. К концу вегетации почти все листья, начиная с нижних, засыхают и повисают на стеблях. В полевых условиях полосчатая мозаика очень часто сопровождается морщинистостью. В год заражения Y-вирус картофеля на листьях картофельного растения наблюдается проявление мозаики и некрозов. Развитие некрозов начинается с маленьких пятен на долях и разрастаются до полной их гибели. В некоторых случаях эти симптомы могут развиваться лишь в пределах одного побега картофельного куста; как правило, позже они переходят и на другие побеги. При заражении на поздней стадии развития картофельного растения симптомы заболевания могут не проявляться, однако клубни уже несут вирусную инфекцию.

Растения, развивающиеся из зараженных клубней – карликовые. На листьях проявляются расплывчатая мозаика и морщинистость. При высокой температуре крапчатость может становиться незаметной, но морщинистость остается. Заболевание картофеля, вызванное этим вирусом, называется полосчатой или морщинистой мозаикой, а также стриком. Известно несколько штаммов УВК. Некротический штамм УВК является наиболее вредоносным, особенно при совместной инфекции с другими вирусами. На листья некоторых сортов при заражении этим штаммом появляются округлые некротические пятна, а также скручивание, отмирание краёв листовой пластинки и слабая мозаичность. Симптомы вируса PVY на листьях и клубнях показаны на рис. 4.1.20.

Симптомы заболевания зависят от штамма вируса, сорта картофеля времени заражения и погодных условий (Блоцкая, 2000). На жилках листьев и на стеблях образуются некрозы, штрихи, черешки становятся ломкими. Описанные симптомы усиливаются после цветения. Штамм С этого вируса наряду с симптомами мозаичности, пятнистости на листьях вызывает их отмирание, на поверхности и внутри клубней могут быть некротические

пятна (рис. 4.1.21), Как нами установлено, вирус Y в моноинфекции встречается редко, а преимущественно в ассоциативных комплексах с другими вирусами: Y+X+L+M+S и Y+X+L+M+S+TRV, вызывая при этом симптомы карликовости, морщинистости и курчавости в сочетании с глянцеvidностью и ломкостью листьев и стеблей.



Рисунок 4.1.20 – Симптомы вируса PVY на листьях (слева) и клубнях (справа) на сорте Ред Скарлет

M вирус картофеля – МК (Potato virus M – PVM). Семейство Closteroviridae, род Carlavirus. Потери урожая восприимчивых сортов от МК достигают 40%. МК вызывает скручивание листьев картофеля, межжилковую мозаику и деформацию листовой пластинки (рис. 4.1.21).



Рисунок 4.1.21 – Симптомы M-вируса картофеля PVM на сорте Ильинский

На молодых растениях обычно наблюдаются симптомы, которые могут маскироваться на более поздних стадиях развития при повышенной температуре (более 24°C). Интенсивность проявления симптомов также зависит от штамма вируса и сорта картофеля. Штаммы МВК могут различаться по способности передачи тлями и симптомам на растениях-индикаторах. Поражения на ботве картофеля, полученные от этого вируса, могут на некоторых отсутствовать, на других они проявляются в виде посветления листьев и слабой крапчатости, возможна слабая морщинистость, бронзовость листочков, посветление, глубокое жилкование, краевой некроз и ложечковидная деформация листьев. Выделен нами как в моноинфекции, так и в комплексе с другими вирусами (M+S+X, M+S+L+X, M+S+X+Y+L+TRV).

Вирус S картофеля – СВК (Potato virus S – PVS). Род Carlavirus. возбудитель инфекционного хлороза крапчатости или обыкновенной мозаики. Симптомы болезни очень нечеткие: листья немного мозаичны, с немного щербатой поверхностью и наклоненными вниз верхушками листьев. Листья давно зараженных сортов картофеля могут иметь бронзоватый оттенок, в верхней части мелкие, слегка некротические пятнышки (рис. 4.1.22).



Рисунок 4.1.22 – S-вирус картофеля (PVS) на сорте Адретта

На большинстве растений сорта Ильинский были отмечены следующие симптомы: слабая морщинистость и складчатость, общее осветление листьев. На растениях сорта Адретта отмечали мозаичность листьев, а также закручивание и волнистость краев верхних листьев. Y-вирус картофеля проявлялся на растениях сорта Ред Скарлет в виде морщинистой мозаики листьев. Картофель большинства сортов этот вирус поражает в скрытой форме. Часто из-за того, что вирус латентный (скрытый), или вызывает только едва заметные симптомы, пораженные растения не уничтожаются. Реакция растений на заражение сильными штаммами вируса выражается в общем хлорозе, отставании в росте. Вместе с другими картофельными вирусами – X, M и Y – вирус вызывает губительные болезни картофеля и снижает урожай на 24-40%. В комплексе с другими вирусами обнаружен на всех обследованных полях, коллекциях и в клубнях (рис. 4.1.23).



Рисунок 4.1.23 – Симптомы (некротизация мякоти) комплекса вирусов Y+M на клубнях картофеля сорта Адретта

Наиболее часто S вирус встречался в ассоциативных комплексах: S+X, S+M+X, S+M+L+X, S+M+L+X+L+Y+TRV.

Вирус X (ХВК - potato virus X – PVX - potexvirus) был выделен нами как в моноинфекции, так и в комплексе с другими вирусами (в т.ч. S, M). Симптомы варьируют в зависимости от сорта, штамма, условий возделывания картофеля. Характерно образование мозаики или крапчатости. На молодых листьях наблюдается светло – зеленая мозаика (пятна) различной интенсивности, формы и величины. Причиной мозаичности могут быть также S и M вирусы.

Вирус L обнаружен нами в клубнях и вегетирующих органах на полях картофеля как в моноинфекции, так и в комплексе с другими вирусами. Проявление симптомов чаще наблюдали в первой половине вегетации – до бутонизации. При первичной инфекции наблюдается слабое скручивание нижних листьев вдоль средней жилки или заболевание протекает в латентной форме. Был обнаружен во всех обследованных партиях картофеля и на всех обследованных полях. В комплексе с вирусом TRV вызывал глянцеvidность стеблей, ломкость листьев и их скручивание. Листья становятся ломкими, жесткими и шуршащими, нередко с нижней стороны приобретают антоциановую окраску. У некоторых сортов наблюдается деформация верхних ярусов листьев. L-вирус поражает не только листья, но и клубни, на срезе которых заметен сетчатый некроз. Прорастание больных клубней задерживается, наблюдается нитевидность ростков.

Вирус TRV – возбудитель пестростебельности картофеля. Выявлен нами на картофеле на большинстве обследованных сортов как в моноинфекции так и в комплексе с другими вирусами. На клубнях картофеля образуют темные пятна, а в конце срока хранения клубни становятся жесткими, каменистыми. На листьях в период сразу после прорастания и до бутонизации наблюдаются мелкие хлоротичные и светлые пятна. Сильно поражённые растения отстают в росте, листья и стебли глянцевые, растения карликовые, листья темноокрашенные, ломкие, иногда наблюдается деформация цветков. Встречался как в клубнях, так и на полях в вегетирующих растениях преимущественно в ассоциативных комплексах с

другими вирусами (X, S, M, L, Y и др.) и на участках где присутствовали нематоды переносчики вируса из семейства *Trichodoridae*.

Вирус TRSV возбудитель полосчатости жилок на листьях картофеля образовывал прижилковые светло-коричневые полосы и штрихи. Жилки становятся водянистыми и постепенно некротизируются. Иногда отмечаются кольцевые пятна. В большинстве случаев растения мельчают и искривляются, хотя симптомы могут появиться и на растениях нормального роста. Вирус TobRSV обнаружен нами лишь в вегетирующих растениях на полях картофеля и не обнаружен в клубнях.

Вирус мозаики резухи AMV – возбудитель жёлтой полосчатости картофеля проявлялся различными симптомами. Пораженные растения были низкорослые, искривлённые, преждевременно отмирающие. На листьях фиксировалось большое количество овальных хлоротично-палевых колец серовато-зеленоватого оттенка, главным образом, в основании нижних листьев. На корнях и подземной части стебля отмечали овальные некротические повреждения, что, вероятно, характерно для повреждения нематодами. Был отмечен только на полях, зараженных нематодами-переносчиками этого вируса (*Xiphinema diversicaudatum* и *Longidorus elongates*) в период вегетации. В клубнях не был обнаружен. Вирус AMV обнаружен нами в посадках картофеля в комплексе с другими вирусами X+AMV, AMV+TRV+L.

Последняя комбинация вирусов выявлена нами на сорте Истринский, на участке зараженным нематодами переносчиками непо- и тобра- вирусов (*Xiphinema diversicaudatum* и *Paratrichodorus teres*).

Вирус TobNV – возбудитель некротической пятнистости картофеля обнаружен в посадках картофеля в Талдомском районе Московской области на участках зараженных нематодами переносчиками непо- и тобра – вирусов (*Longidorus elongates* и *Trichodorus similes*). Симптомы болезни очень яркие и проявляются на листьях в виде небольших серых некротических штрихов и пятен, с увеличением размера которых листья могут некротизироваться, что

может привести к гибели растений. Бутоны поражённых этим вирусом растений почти не распускаются или образуют мелкие цветки с некротическими штрихами, стебель искривляется. На картофеле появляются вдавленные стекловидные пятна, которые позже приобретают коричневую окраску. На поперечном срезе клубней картофеля видны прозрачные пятна, которые позже буреют.

Симптомы вирусов Y, S, M были отмечены практически одновременно - в виде морщинистости, карликовости и мозаики с разной степенью интенсивности, фон минеральных удобрений практически не повлиял на динамику симптомов. По данным визуального учета к фазе полных всходов процент распространенности Y-вируса на растениях сорта Ред Скарлет составил 16,3%, S-вируса на растениях сорта Ильинский – 8,2%, M-вируса на растениях сорта Адретта – 10,4%. Процент развития (R) болезней составил 6,1%, 3,7% и 4,6%, соответственно.

4.1.4 Оценка вредоносности моно- и смешанных вирусных инфекций на картофеле

Значение вирусных заболеваний и их роль в снижении урожайности картофеля достаточно широко анализируется в литературе (Романенко и др., 2001; Фоминых и др., 2017; Kolychikhina, Beloshapkina, 2016). Степень снижения урожайности картофеля зависит от вида вируса, его штаммов, сорта и условий выращивания (Kolychikhina и др., 2021). Потери урожая картофеля от вирусных болезней варьируют от 10% до 88%. На долю Y вируса картофеля в РФ и в мире приходится 40-80% общих потерь урожая; от S вируса теряется 10-25%, от M вируса – 15-45% урожая. Ущерб от X вируса составлял в среднем 25%, достигая 31%, вирус TRV снижал урожай в зависимости от сорта на 28,7 – 41,7%, при комплексных инфекциях потери возрастают. Возбудители способны ухудшать товарные качества клубней,

изменяя количество сухого вещества, снижая содержание крахмала. При поражениях Y-вирусом его уровень падает на 1,8%, Y+S – на 2,6%, M-вирусом – на 1-2,0%, M+S – на 2,1%, S-вирусом – на 0,9%. В клубнях картофеля, зараженных X-, S- и M-вирусами, снижается, по сравнению со здоровыми, содержание сухого вещества и витаминов на 2,0% и 3,2%, соответственно, происходят и другие неблагоприятные физиолого-биохимические изменения.

Вредоносность наиболее распространенных в РФ вирусов оценивали в лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в условиях полевых мелкоделяночных опытов, используя ранее выделенные в ИНПАРАН изоляты вирусов на картофеле разных сортов в 9-и кратной повторности, по трем рендомизированным блокам по каждому варианту. Контролем были оздоровленные (безвирусные по результатам ИФА растения).

Оценивали вредоносность наиболее распространенных в РФ вирусов (X, TRV, S, M) и их ассоциаций (X+S, X+S+M, X+S+M+L, X+S+M+L+Y, X+S+M+L+Y+TRV) (Романенко и др., 2004; 2005). Сравнивали развитие надземных органов растений и урожайность оздоровленных (безвирусных) растений картофеля сорта Романо с соответствующими показателями у зараженных моноинфекцией и комплексной вирусной инфекцией растений. Контролем служили выделенные в процессе исследований безвирусные клоны. Опытные растения были трехкратно обработаны системным инсектицидом – актарой (0,02%). Кроме того, для контроля и отлова тлей - переносчиков вирусов были развешены клеевые желтые ловушки. Результаты оценки вредоносности вирусов картофеля и их ассоциаций в условиях полевого опыта на картофеле сорта Романо были получены в среднем из 9 повторностей, по трем рендомизированным блокам и статистически обработаны. Суммарные усредненные данные по трем рендомизированным блокам представлены в таблице 4.1.7.

У инфицированных растений, как в случае поражения отдельными вирусами (X, S, M, R), так и при поражении комплексами вирусов (X+S, X+S+M, X+S+M+L, X+S+M+L+Y, X+S+M+L+Y+R) существенно снизилось количество побегов в среднем на один куст. У здоровых растений в кусте было примерно 6 побегов, что соответствует данному сорту. Под влиянием вирусов S, M, R, а также смешенной вирусной инфекции их количество уменьшилось на 43-76%. Минимально, хотя статистически достоверно, уменьшилось количество побегов у растений зараженных вирусом X, который поражает большинство сортов картофеля в латентной форме, без проявления симптомов и не влияя на габитус растений.

Заражение вирусами также существенно повлияло и на высоту растений. Самыми низкорослыми (48 и 50 см против 71 см в контроле) оказались растения, зараженные комплексом из шести и пяти вирусов. Такое значительное влияние вирусов на формирование надземной части не могло не отразиться на продуктивности растений.

Как правило, антагонистические или синергетические взаимодействия между вирусами и их штаммами существенно влияют на размеры потерь от вирусных инфекций. В нашем эксперименте наибольшее негативное влияние на урожайность картофеля, более чем в 2 раза, оказало комплексное заражение всеми изучаемыми вирусами X+S+M+L+Y+R, что связано, вероятно, с их синергическим эффектом (табл. 4.1.7).

Снижение урожая в этом случае произошло за счет резкого измельчения клубней – масса одного зараженного клубня 33 г, в сравнении с 68 г у здоровых растений. Клубни с инфицированных растений были, деформированными, значительно мельче, сильно отличались по форме от типичных клубней сорта Романо. При этом количество клубней с единицы площади фактически не уменьшилось при поражении вирусом X и комплексами X+S+M+L+Y и X+S+M+L+Y+R; в других вариантах отмечено существенное увеличение их количества. Не существенно отличались между собой по вредоносности, оцениваемой по количеству полученных клубней и

их массе, вирусы X, S, M, а также одновременное поражение растений вирусами X+S и X+S+M, хотя по сравнению с безвирусными растениями продуктивность картофеля они снижали статистически существенно. Комплекс из четырех, пяти и шести вирусов был наиболее вредоносен для растений картофеля сорта Романо и их вредоносность увеличивалась пропорционально количеству видов вирусных патогенов. В некоторых изучаемых вариантах отмечено увеличение количества клубней по сравнению с контролем. Максимальный выход клубней оказался у растений зараженных комплексом вирусов X+S+M+Y, но их масса была в среднем 36 г, поэтому урожайность с единицы площади снизилась на 40 % по сравнению с контролем.

Таблица 4.1.7

Оценка влияния вирусов на урожайность картофеля сорта Романо (МСХА, 2001)

Варианты	Урожайность (клубней)		
	шт/м ²	кг/м ²	% к контр.
Контроль (здоровые)	41,02 d	3,36 a	-
X	39,81 de	2,69 b	80,1
S	50,01 bc	2,71 b	80,7
M	49,53 bc	2,63 b	78,3
R	48,99 bc	2,61 b	77,7
X+S	49,63 bc	2,69 b	80,1
X+S+M	51,33 b	2,63 b	78,3
X+S+M+L	56,85 a	2,02 c	60,1
X+S+M+L+Y	38,36 de	1,82 cd	54,2
X+S+M+L+Y+R	41,29 d	1,38 de	41,1

$HCP_{05} = 3,02$ $HCP_{05} = 0,61$

Примечание: здесь и далее одинаковые буквы обозначают отсутствие различий между вариантами при 95% уровне значимости.

Следующая серия экспериментов по выяснению видового состава вирусов на сортах картофеля проводилась в 2012 году в мелкоделяночном опыте на территории лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА имени

К.А. Тимирязева. Предварительно была проведена диагностика клубней картофеля (методом ИФА), в ходе которой, было установлено, что сорта Снегирь, Хороший и Радонежский поражены М вирусом картофеля, Ред Скарлет - Y вирусом картофеля, Ильинский - S вирусом картофеля. Также, в течение вегетационного периода было отмечено поражение растений картофеля сорта Адретта комплекса вирусов Y+M, Y+S и S+M.

После уборки, взвешивания клубней и статистической обработки данных выяснили, что урожайность здорового картофеля сорта Ред Скарлет была выше на 0,24 кг/ м² чем урожайность здорового картофеля сорта Хороший, что соответствует описанию сортов. Отмечено сильное снижение урожайности картофеля под влиянием вирусов у обоих сортов, более чем на 35% от контроля. Наибольшая вредоносность отмечена у вируса Y по отношению к сорту Ред Скарлет.

Под влиянием вирусов Y и M у сортов Ред Скарлет и Хороший, отмечено снижение урожайности на 35,6 и 36,4%, соответственно. Основная причина снижения урожая – это измельчание клубней картофеля пораженного вирусами, количество клубней в большей степени определяется сортовыми особенностями.

Таким образом, нами подтверждена существенная вредоносность наиболее распространенных вирусов картофеля, как правило, возрастающая при совместном заражении комплексом вирусов и пропорциональная количеству видов в этих комплексах (Насроллахнеджад и др., 2001; 2002). У инфицированных растений сорта Романо, как в случае поражения отдельными вирусами (X, S, M, R), так и при поражении комплексами вирусов (X+S, X+S+M, X+S+M+L), X+S+M+L+Y, X+S+M+L+Y+R) существенно снизилось количество побегов в среднем на один куст и уменьшилась высота растений до 70% при заражении комплексом из шести и пяти вирусов. Наибольшее негативное влияние на урожайность картофеля сорта Романо, более, чем в 2 раза, оказало комплексное заражение вирусами X+S+M+L+Y+R, которое произошло за счет резкого измельчения клубней.

4.1.5 Влияние заражения различными комплексами вирусов на биохимические показатели качества клубней картофеля

Комплексное заражение вирусами также оказывает большее влияние на показатели качества клубней картофеля, нежели моноинфекции, и различные комплексы вирусов могут оказывать неодинаковое воздействие на один и тот же сорт. В ходе, проведения исследования на содержание крахмала, активности каталазы, накопления общих сахаров и сухого вещества в клубнях картофеля под влиянием комплексов вирусов Y+M, Y+S и S+M и статистической обработки данных были получены следующие результаты.

Зараженность вирусами оказала значительное влияние на содержание крахмала в клубнях картофеля (табл. 4.1.8).

Так M вирус картофеля снизил количество крахмала на сорте Хороший почти на 3%, в то время как Y вирус картофеля на сорте Ред Скарлет всего на 1,5%. Биохимические показатели качества клубней картофеля, от которых зависит лежкость в период хранения, также разнятся в зависимости от сорта и поражаемого его вируса. Y вирус картофеля на сорте Ред Скарлет оказал меньшее влияние на активность каталазы и накопление общих сахаров в клубнях картофеля, по сравнению с M вирусом картофеля на сорте Хороший.

Таблица 4.1.8

Влияние зараженности вирусами Y и M на урожайность и биохимический состав картофеля сортов Ред Скарлет и Хороший (СЗР РГАУ - МСХА, 2012)

Варианты	Средние значения урожайности, кг/ м²	Крахмал, %	Каталаза, мл О₂	Общие сахара, %	Сухое вещество, %
Ред Скарлет Y	1,19	14,5	2,78	4,6	26,0
Ред Скарлет контроль	1,87	15,9	2,24	4,3	23,6
Хороший M	1,05	11,6	2,78	6,1	19,6
Хороший контроль	1,63	14,7	3,98	5,6	22,6
НСР ₀₅	0,29	0,55	0,28	0,46	0,68

Влияние заражения комплексами вирусов на биохимические показатели качества клубней картофеля сорта Адретта (РГАУ-МСХА, 2012)

Варианты	Крахмал, %	Каталаза, мл	Общие сахара, %	Сухое вещество, %
Адретта Y+S	12,4	0,9	5,2	26
Адретта Y+M	10,1	0,9	5,7	28,2
Адретта S+M	11,4	1,8	5,2	24,6
НСР ₀₅	0,5	0,3	0,5	0,7

Во всех исследуемых вариантах отмечены значительные отклонения от сортовых показателей. Так в литературных данных количество крахмала для сорта Адретта варьирует в пределах 13-18%, в наших результатах самый высокий показатель количества крахмала был отмечен при поражении комплексом вирусов Y+S, который на 0,6% был меньше, чем минимальное значение для данного сорта (табл. 4.1.9)

Наибольшая вредоносность отмечена на комплексе вирусов Y+M, который оказал самое негативное влияние на все биохимические показатели качества клубней картофеля. Наряду с резким снижением количества крахмала на 2,9 % от минимальных сортовых значений, мы отметили переизбыток сухого вещества на 4,2% от максимальных значений для картофеля, предназначенного для переработки на картофелепродукты. Также, под влиянием данного комплекса вирусов были отмечены самые низкие биохимические и физиологические показатели жизнеспособности клубней картофеля в период хранения.

Один и тот же вирус картофеля может оказывать неодинаковое воздействие на различные сорта картофеля. Данный факт может быть обусловлен как устойчивостью определенного сорта картофеля к определенному вирусу, так и агрессивностью определенного штамма вируса. При изучении воздействия M вируса картофеля на биохимические показатели качества картофеля сортов Снегирь, Радонежский и Хороший и статистической обработки полученных данных (табл. 4.1.10) мы получили,

что М вирус картофеля практически не оказал никакого влияния на биохимические показатели качества картофеля сорта Радонежский.

Таблица 4.1.10

Влияние заражения М вирусом картофеля на биохимические показатели качества клубней картофеля различных сортов (РГАУ-МСХА, 2012)

Варианты	Крахмал, %	Каталаза, мл	Общие сахара, %	Сухое вещество, %
Снегирь М	12,6	0,8	5,8	24
Радонежский М	13,7	1,4	4,8	20,4
Хороший М	11,6	2,8	6,1	19,6
НСР ₀₅	0,5	0,3	0,5	0,7

Количество крахмала находилось в рамках сортоописания, сухое вещество в пределах нормы регламента на картофель, предназначенного для переработки на картофелепродукты, накопление общих сахаров в период хранения, минимально из исследуемых вариантов. Наибольшая вредоносность М вируса картофеля была отмечена на сорте картофеля Хороший.

Таким образом, выяснили, что М вирус картофеля снизил количество крахмала на сорте Хороший на 3,1% а Y вирус картофеля на сорте Ред Скарлет на 1,4%. Однако, М вирус не оказал влияния на качество клубней сорта Радонежский (крахмал 13,7% при 20,4% сухого вещества). Количество сухого вещества снизилось до 19,6% у сорта Хороший, пораженного вирусом М, а у сорта Ред Скарлет под влиянием Y вируса картофеля - увеличилось до 26% (Белошапкина и др., 2013).

М вирус картофеля на сорте Хороший снизил активность каталазы на 1,2 мл выделенного кислорода и количество общих сахаров в клубнях на 0,3%, а Y вирус картофеля на сорте Ред Скарлет не оказал влияния на активность каталазы, но увеличил количество общих сахаров на 0,5%.

Комплекс вирусов Y+M к сорту Адретта обладал наибольшей вредоносностью и снизил количество крахмала на 2,9 % от минимальных

сортовых значений и вызвал переизбыток сухого вещества на 4,2% от максимально возможных значений для картофеля, предназначенного для переработки на картофелепродукты.

На пригодность картофеля к переработке влияли как видовой состав вирусов (Y и M) и их комплекса (Y+M, Y+S и M+S), так и генетические особенности сорта (как толерантный выделен сорт Радонежский).

Защита растений, базирующаяся на экологически малоопасных препаратах, воздействующих непосредственно на компоненты вирусов или индуцирующих устойчивость растений, находит все большее применение на практике и может стать важным звеном всей системы защиты картофеля от вирусных болезней (Колычихина, 2020; Колычихина, Белошапкина, 2017; 2018).

4.1.6 Влияние обработок против колорадского жука и картофельных тлей

В опытах 2010 г. был проведен учет крылатых тлей и других летающих насекомых с помощью цветных клеевых ловушек. Оранжевые ловушки (производства фирмы «Биотех») представляют двусторонние ярко-желтые картонные пластины 25x12 см, покрытые клеевым составом. В период окончания роста картофеля ловушки выставляли на шестах среди растений на высоте около 50 см. После двухнедельной экспозиции ловушки просматривали с первичной диагностикой и подсчетом насекомых. Учет проводился на посадках сорта Жуковский ранний в вариантах с проливом почвы при посадке препаратом Актара и в контроле (табл. 4.1.11).

В общем составе сборов значительно преобладали тли (58,6%), а также цикадки (15,8%) и двукрылые (19,1%) – преимущественно сапротрофные комарики сциариды. Несмотря на относительность данного учета (возможность прилета насекомых к ловушкам с соседних мест), очевидна

тенденция значительного снижения численности насекомых при обработке. Таким образом предпосадочная обработка неоникотиноидом достаточно эффективна через полтора месяца после посадки при заселении сосущими вредителями – переносчиками вирусов картофеля.

Таблица 4.1.11

Оценка влияния обработки на численность насекомых с помощью желтых клеевых ловушек

Вариант	Среднее число насекомых, экз./1 ловушку				
	Тли	Цикадки	Двукрылые	Др. насекомые	Всего
Контроль	55,3±2,9	18,7±2,4	20,0±1,5	7,0±2,0	101,0±3,0
Актара, локальный пролив почвы	43,7±8,5	8,0±2,1*	12,3±2,0*	4,0±1,5	68,01±3,1
Снижение к контролю, %	21,0	57,2	33,5	42,9	32,7

Достоверность различий: * - (P<0,05)

Более непосредственный и детальный учет тлей проведен в 2011 г. на листьях картофеля. Учет проведен в период цветения картофеля, 7.07.11, при заселении растений крылатыми самками-расселительницами картофельных тлей. В контроле и вариантах с посадочной обработкой (на 48 день после обработки) у 15 растений в каждом варианте отбирали по 1 развитому листу среднего яруса. Далее листья просматривали под лупой с подсчетом и определением особей. Биологическую эффективность в данном случае оценивали по формуле Аббота, по снижению численности тлей относительно контроля.

Оценка видового состава тлей обнаружила все основные виды, вредящие на картофеле. При этом большинство (45,3%) составляла персиковая тля *Myzodes persicae*, считающаяся наиболее опасной в отношении распространения вирусов картофеля. Обычными были тли крушинниковая *Aphis frangulae* (20,0%), большая картофельная *Macrosiphum euphorbiae* (18,7%) и обыкновенная картофельная *Aulacorthum solani* (13,3%)/ Редко (2,7%) встречалась крушинная тля *Aphis nasturtii*.

Численность тлей снизилась во всех вариантах обработки, однако, в различной степени (табл. 4.1.12).

Таблица 4.1.12

Численность крылатых тлей при различных средствах и способах посадочной обработки картофеля

Вариант	Численность тлей (n/1 лист)	Заселенность растений, %	Биологическая эффективность, %
Контроль	1,87±0,32	86,7	-
Актара, локальная обработка почвы	0,40±0,19***	26,7	78,6
Актара, обработка маточных клубней	0,60±0,25**	33,3	67,9

***, **, * - достоверные отличия от контроля (P<0,001; 0,01; 0,05 соответственно)

Наибольшее снижение численности и заселения отмечено при опрыскивании почвы препаратом актара в рекомендуемой концентрации. Несколько уступает эффект обработки клубней данным препаратом. Таким образом, подтверждена эффективность системного действия препарата актара против тлей – переносчиков патогенных вирусов картофеля.

4.1.7 Действие разных способов обработки картофеля препаратом актара против колорадского жука на наземную фауну членистоногих

Учеты наземной энтомофауны с помощью ловушек Барбера вели с середины периода вегетации после опрыскивания растений и вплоть до уборки. В качестве ловушек использовали пластиковые стаканчики емкостью 0.25 л до половины заполняемые фиксирующим составом из 12% раствора уксусной кислоты и 7% раствора поваренной соли. В каждом варианте ловушки вкапывали на уровне почвы в 3-кратной повторности, на равномерных расстояниях. Сбор и учет беспозвоночных из ловушек проводили с интервалами от 7 до 10 дней. На с. Жуковский ранний

проведено 4 учета, на более позднем с. Чародей – 5 учетов. Проводили первичное определение сборов, для большинства насекомых - с точностью до вида, для некоторых – до рода или семейства. Других беспозвоночных учитывали без точного определения.

Анализируя наземную фауну опытного участка по сборам из ловушек Барбера, отдельно отметим встречаемость в ловушках целевого объекта – колорадского жука (табл. 4.1.13).

Не являясь типичным элементом герпетофауны, колорадский жук попадает в почвенные ловушки в основном, в период ухода личинок в почву на окукливание и затем - в период выхода из почвы молодых имаго и заселения ими растений. Численность колорадского жука в разных вариантах не имеет прямой связи с эффективностью обработок, поскольку отлов происходит уже в период прекращения токсического действия препарата актара, в ходе пространственного перераспределения жуков на участке. Заметные различия по сортам определяются прежде всего состоянием растений. В период отлова у более раннеспелого сорта Жуковский ранний проходило окончание вегетации и отмирание надземной части растений, тогда как растения сорта Чародей продолжали вегетацию и имели развитые, зеленые надземные части. Поэтому выходящие молодые жуки концентрировались преимущественно на участке, занятом сортом Чародей.

Всего в составе сборов ловушек отмечено 381 особей беспозвоночных, относящихся к 5 классам, 10 отрядам, 20 семействам, 35 видам. Подавляющую долю численного и видового состава представляют насекомые из которых наиболее многочисленны представители отр. Жесткокрылых. Среди них значительно преобладают виды с. Жужелицы, составляющие 2/3 общего численного состава сборов. Из 13 зарегистрированных видов жужелиц 3 являются доминирующими (*Pterostichus melanarius*, *Broscus cephalotes*, *Ophonus rufipes*), 5 – обычными и 5 – малочисленными. Среди немногих других жесткокрылых – наземные долгоносики, различные жуки сапрофаги. Из отр. Двукрылые преобладают

мухи сапрофаги, возможно привлекаемые в ловушки их содержимым. Среди перепончатокрылых преобладают земляные муравьи.

Встречаемость рапсового пилильщика объясняется соседством участка с посевами рапса. Чешуекрылые представлены подгрызающими совками (3 гусеницы, 1 имаго). Из единичных представителей других отрядов отмечаются цикадки и кобылки. Курьезно обнаружение в ловушке клопа гладыша, очевидно залетевшего с окрестных прудов. Небольшой но постоянный компонент сборов составляют паукообразные: сенокосцы и пауки. Другие беспозвоночные (многоножки, улитки, черви) встречались одиночно.

В целом значительная часть наземной фауны представлена жужелицами, преимущественно хищными полезными энтомофагами.

Состав насекомых на разных сортах различается не сильно, но заметно. Несмотря на более короткую вегетацию и период учетов на с. Жуковский ранний, численность жужелиц здесь выше, чем на с. Чародей. На разных сортах состав фауны различен по степени доминирования массовых видов и встречаемости малочисленных видов.

Динамика отлова беспозвоночных в разных вариантах опыта представлена в таблице 4.1.15.

Таблица 4.1.13

Встречаемость колорадского жука в ловушках Барбера, суммарные данные за время учетов.

сорт	с. Жуковский ранний				с. Чародей				Общее
	К	П	ОП	Всего	К	П	ОП	Всего	
личинки	8	4	0	12	1	2	1	4	16
имаго	5	1	1	7	8	10	17	35	42

Условные обозначения: К – контроль, П – локальный пролив почвы, ОП – опрыскивание растений

Общую характеристику остальной фауны можно рассмотреть по суммарным по повторностям, учетам и вариантам данным (табл.4.1.14).

Общий состав фауны беспозвоночных опытного участка СТАЗР по материалам ловушек Барбера

Отряд, семейство, вид	Число особей			Доля от общего состава, %
	с. Жук. ран	с. Чародей	Общее	
отр. Жесткокрылые Coleoptera				
с. Жужелицы Carabidae				
<i>Pterostichus melanarius</i>	45	31	76	
<i>Brosicus cephalotes</i>	46	26	72	
<i>Ophonus rufipes</i>	25	30	55	
<i>Pterostichus niger</i>	14	4	8	
<i>Amara aenea</i>	0	6	6	
<i>Bembidion</i> sp.	2	4	6	
<i>Agonum dorsalis</i>	1	4	5	
<i>Pterostichus cupreus</i>	3	0	3	
<i>Agonum assimile</i>	1	1	2	
<i>Amara plebeja</i>	1	0	1	
<i>Amara fulva</i>	0	1	1	
<i>Harpalus</i> sp.	0	1	1	
Всего жужелиц, особей	143	110	253	66.4
с. Долгоносики Curculionidae				
<i>Otiorrhynchus liquistici</i>	3	3	6	
<i>Sitona lineatus</i>	0	1	1	
с. Мертвоеды Silphidae				
<i>Necrophorus vespillo</i>	1	0	1	
<i>Thanatophilus sinuatus</i>	1	0	1	
с. Стафилины Staphylinidae	0	1	1	
с. Пластинчатоусые Scarabaeidae				
<i>Onthophagus</i> sp.	1	0	1	
с. Листоеды Chrysomelidae				
<i>Haltica</i> sp.	1	0	1	
Всего жесткокрылых:				
видов	18	14	20	
особей	150	115	265	69.6
Отр. Двукрылые Diptera				
с. Серые мясные мухи Sarcophagidae	10	11	21	
с. Настоящие мухи Muscidae	6	15	21	
с. Журчалки Syrphidae	1	3	4	
Всего двукрылых, особей	17	29	46	12.1
Отр. Перепончатокрылые Hymenoptera				
с. Муравьиные Formicidae (<i>Lasius niger</i>)	5	31	36	
с. Настоящие пилильщики Tenthredinidae (<i>Athalia colibri</i>)	1	2	3	

Продолжение таблицы 4.1.14

с. Пчелиные Apidae (<i>Apis mellifera</i>)	1	0	1	
Всего перепончатокрылых, особей	7	33	40	10.5
Отр. Чешуекрылые Lepidoptera				
с. Совки Noctuidae (<i>Scotia</i> sp.)	1	3(лич.)	4	1.1
Отр. Равнокрылые Homoptera				
с. Цикадки Cicadellidae	0	3	3	0.8
Отр. Прямокрылые Orthoptera				
с. Саранчовые Acrididae	0	2	2	0.5
Отр. Полужесткокрылые Hemiptera				
с. Гладыши Notonectidae	0	1	1	0.3
Всего насекомых:				
видов	25	23	30	
особей	175	186	361	94.8
кл. Паукообразные Arachnidae				
отр. Сенокосцы Opiliones	4	8	12	
отр. Пауки Aranei	4	2	6	
Всего паукообразных, особей	8	10	22	4.7
кл. Многоножки Myriapoda	0	1	1	0.3
кл. Брюхоногие моллюски Gastropoda	1	0	1	0.3
кл. Малощетинковые черви Oligochaeta	1	0	1	0.3
Всего беспозвоночных:				
видов	29	26	35	
особей	185	197	381	100

Несмотря на резкие колебания численности по повторностям и датам и большие ошибки средних общая тенденция к сокращению фауны при обработках очевидна на обоих сортах. Это сокращение сильнее в варианте с проливом почвы, нежели при опрыскивании растений актарой. Однако в последних учетах численность в вариантах с обработкой возрастает и иногда превосходит контроль. Это объясняется изменениями растительности. Большая вредоносность колорадского жука в контроле приводит к уничтожению и быстрому отмиранию надземной части картофеля и рядки оголяются. Это вызывает перераспределение беспозвоночных на менее поврежденные опытные варианты. Сокращение фауны при химических обработках подчеркивается суммированными данными (табл. 4.1.16).

Таблица 4.1.15

Численность беспозвоночных (на 1 ловушку, за 1 учетный период) в вариантах опыта

Сорт	Вариант	Дата					Общее
		17.07	25.07	6.08	15.08	22.08	
Жуковский ранний	К	8.0±1.0	9.0±7.1	6.3±1.5	4.7±1.9	-	7.0±1.7
	П	2.7±1.5	4.0±1.5	1.0±0	7.3±0.3	-	3.8±0.8
	ОР	3.3±1.9	4.0±1.5	5.7±3.2	7.3±3.3		5.1±1.2
НСР_{0.05}							1.9
Чародей	К	5.0±2.0	8.3±4.4	5.7±3.7	2.3±0.7	8.7±3.5	6.0±1.3
	П	2.0±1.0	2.0±1.0	5.7±0.9	2.7±1.2	3.3±1.5	3.1±0.6
	ОР	1.0±0.6	2.0±0.6	4.3±0.3	2.0±1.0	14.0±6.4	4.7±1.7
НСР_{0.05}							1.7

В результате обработок происходит сокращение не столько видового сколько численного состава фауны, особо резкое, до двукратного уровня при проливе почвы актарой, что объясняется более длительным эффектом данного способа. Такое действие, выраженное даже в малом пространстве мелкоделяночного опыта может проявиться еще сильнее при широкомасштабных производственных обработках.

Таблица 4.1.16

Характеристика видового и численного состава наземной фауны в вариантах опыта

Вариант	с. Жуковский ранний		С. Чародей	
	число видов	число особей	число видов	число особей
К	17	80	18	90
П	13	41	14	46
ОР	15	55	20	60

4.1.8 Влияние химических обработок против колорадского жука на картофельных тлей

Важным направлением химической защиты картофеля от колорадского жука является применение препаратов группы неоникотиноидов с системным действием при посадке картофеля путем либо локальной

обработки почвы (посадочной борозды, лунок), либо обработки маточных клубней перед посадкой (Ахатов и др., 2013; Белошапкина и др., 2017; Гриценко, Москвин, 2011; Зейрук и др., 2020). При этом необходимо оценивать действие этих мер не только на главный объект – колорадского жука, но и на других вредителей картофеля. На семенном картофеле первостепенное значение имеют колюще-сосущие вредители как переносчики возбудителей вирусных болезней, в первую очередь, тли, а также цикадки и листоблошки (Колычихина, Белошапкина, 2017). Подобное исследование проведено на полевом участке лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

В мелкоделяночных полевых опытах исследовали влияние предпосадочных обработок неоникотиноидами на колорадского жука, нормы расхода препарата соответствуют рекомендованным.

В опытах 2010 г. был проведен учет крылатых тлей и других летающих насекомых с помощью цветных клеевых ловушек. Оранжевые ловушки (производства фирмы «Биотех») представляют двусторонние ярко-желтые картонные пластины 25x12 см, покрытые клеевым составом. В период окончания роста картофеля ловушки выставляли на шестах среди растений на высоте около 50 см, в 3-кратной повторности. После двухнедельной экспозиции ловушки просматривали с первичной диагностикой и подсчетом насекомых. Учет проводился на посадках сорта Жуковский ранний в вариантах с локальным проливом почвы при посадке препаратом Актара и в контроле (табл. 4.1.17).

В общем составе сборов значительно преобладали тли (58,6%), а также цикадки (15,8%) и двукрылые (19,1%) – преимущественно сапротрофные комарики сциариды. Несмотря на относительность данного учета (возможность прилета насекомых к ловушкам с соседних мест), очевидна тенденция значительного снижения численности насекомых при обработке. Таким образом, предпосадочная обработка неоникотиноидом достаточно

эффективна через полтора месяца после посадки при заселении сосущими вредителями – переносчиками вирусов картофеля.

Таблица 4.1.17

Оценка влияния обработки на численность насекомых с помощью желтых клеевых ловушек

Вариант	Среднее число насекомых, экз./1 ловушку				
	Тли	Цикадки	Двукрылые	Др. насекомые	Всего
Контроль	55,3±2,9	18,7±2,4	20,0±1,5	7,0±2,0	101,0±3,0
Актара, локальный пролив почвы	43,7±8,5	8,0±2,1*	12,3±2,0*	4,0±1,5	68,01±3,1
Снижение к контролю, %	21,0	57,2	33,5	42,9	32,7

Достоверность различий: * - (P<0,05)

Более непосредственный и детальный учет тлей проведен в 2011 г. на листьях картофеля. Учет проведен в период цветения картофеля, 7.07.11, при заселении растений крылатыми самками-расселительницами картофельных тлей. В контроле и вариантах с посадочной обработкой (на 48 день после обработки) у 15 растений в каждом варианте отбирали по 1 развитому листу среднего яруса. Далее листья просматривали под лупой с подсчетом и определением особей. Биологическую эффективность в данном случае оценивали по формуле Аббота, по снижению численности тлей относительно контроля.

Оценка видового состава тлей обнаружила все основные виды, вредящие на картофеле. При этом большинство (45,3%) составляла персиковая тля *Myzodes persicae*, считающаяся наиболее опасной в отношении распространения вирусов картофеля. Обычными были тли крушинниковая *Aphis frangulae* (20,0%), большая картофельная *Macrosiphum euphorbiae* (18,7%) и обыкновенная картофельная *Aulacorthum solani* (13,3%). Редко (2,7%) встречалась крушинная тля *Aphis nasturtii*.

Численность тлей снизилась во всех вариантах обработки, однако, в различной степени (табл. 4.1.18).

Наибольшее снижение численности отмечено при опрыскивании почвы препаратом актара в рекомендуемой концентрации. Несколько уступает эффект обработки клубней данным препаратом. Таким образом, подтверждена эффективность системного действия препарата актара против тлей – переносчиков патогенных вирусов картофеля (Гриценко, Москвин, 2011).

Таблица 4.1.18

Численность крылатых тлей при различных средствах и способах посадочной обработки картофеля

Вариант	Численность тлей (n/1 лист)	Заселенность растений, %	Биологическая эффективность, %
Контроль	1,87±0,32	86,7	-
Актара, локальная обработка почвы	0,40±0,19***	26,7	78,6
Актара, обработка маточных клубней	0,60±0,25**	33,3	67,9

***, **, * - достоверные отличия от контроля (P<0,001; 0,01; 0,05 соответственно)

Заключение

В качестве заключения следует отметить, что в XXI веке болезни картофеля разной этиологии и ряд вредителей не снизили свою вредоносность и встречаются в картофельных агроценозах во всех регионах России. Особое внимание следует уделять таким фитопатогенам, как возбудители альтернариоза, фузариоза, вирусных заболеваний, а из фитофагов – колорадскому жуку и тлям. Для сохранения урожайности и высокого качества клубней, в том числе для переработки, необходимы комплексность и оптимальное сочетание с экономической и экологической точки зрения методов и средств (профилактических и терапевтических) защиты растений. Первичным этапом для достижения максимальной эффективности защитных мероприятий является мониторинг не только

посредством визуальных наблюдений, но и использование специального оборудования, основываясь на биологических особенностях вредных организмов.

4.2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИТОСАНИТАРНОГО МОНИТОРИНГА ВАЖНЕЙШИХ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ ЯБЛОНИ И ГРУШИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГИОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

Яблоня и груша – самые распространенные семечковые плодовые культуры в России. Большой проблемой для них являются грибные заболевания, поражающие листья и плоды, соответственно снижающие урожайность и качество продукции (Зейналов, 2013). Наиболее распространенными и вредоносными заболеваниями в Центральном Нечерноземном регионе являются парша яблони и груши, филлостиктоз и ржавчина груши (Головин, Романченко, 2013; Гудковский и др., 2002).

Вред от парши заключается не только в снижении количества и ухудшении качества продукции, но и в снижении лежкости плодов, ослаблении деревьев (Колесова, Чмырь, 2006). Возбудители парши яблони и груши сходны по биологии и патогенезу. В цикле развития их возбудителей всегда имеются две стадии: сумчатая (сапротрофная) на яблоне *Venturia inaequales* (Cooke) Wint., на груше *V. pirina* Aderh. и конидиальная (стадия паразитирования) на яблоне *Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuck., на груше *F. pirinum* (Sib.) Fokl. – (Каширская и др., 2013; Agrios, 2006). Сапротрофная фаза начинается осенью в период опадения и отмирания листьев. При этом вегетативный мицелий прорастает через отмирающие ткани листовой пластинки, и гриб формирует псевдотеции, заметные невооружённым глазом в виде чёрных точек (Белошапкина, 2014). Сумкоспоры, или аскоспоры, (споры полового размножения) в них созревают только весной до момента их

активного вылета из плодовых тел и рассеивания ветром, вызывая первичные заражения распускающихся листьев (Смолякова, 2005; Charest и др., 2002). Образование половой сумчатой стадии является обязательным условием развития гриба (Белошапкина и др., 2020). В районах с теплой зимой оба гриба способны перезимовывать в виде конидий и мицелия на пораженных ветвях и листьях, преимущественно на диких яблонях и грушах, которые весной являются дополнительным источником инфекции (Колесова, Чмырь, 2006).

Против парши в период вегетации многократно применяют фунгициды из разных химических классов, реже биопрепараты и агрохимикаты (Белошапкина и др., 2013; Белошапкина, 2014; 2016; Wahsheh, Beloshapkina, 2015) Одним из основных мероприятий, позволяющих снизить пестицидную нагрузку в садах, тем самым повысить экологическую безопасность, и не требующим больших затрат является использование устойчивых сортов (Салихов и др., 2011). Эти сорта в годы депрессивного и умеренного развития парши практически не поражаются, а в годы эпифитотии развитие парши на этих сортах бывает значительно меньше, чем на поражаемых, и на них требуется значительно меньшее количество обработок фунгицидами (Болдырев, Каширская, 2004; Шпаар, 2003). Устойчивость к парше контролируется 15 разными генами, и эти гены можно вводить в новые сорта с помощью традиционных методов селекции и методов генной инженерии (Скрипников, 2001; Koch и др., 2000).

В России созданы такие высокоурожайные сорта, устойчивые и иммунные к парше, как: Имрус, Орловим, Орловский пионер, Болотовское, Чистотел, Первинка, Пионер, Подарок Графскому, Юбиляр, Строевское, Солнышко, Старт, Кандиль Орловский, Орловское Полесье, Прима и другие. По данным ряда авторов также являются иммунными мелкоплодные формы видов *Malus floribunda*, *M. zumi*, *M. sazeantii* (Дрозда и др., 2013; Седов, 2005; Benaouf, Parisi, 1998). Из старых сортов высокой устойчивостью к парше обладают сорта Антоновка обыкновенная, Богатырь, Ветеран, Коричное

новое, Спартан, Уэлси и некоторые другие. Среди устойчивых сортов иностранной селекции известны такие, как Присцелла, Либерта, Редфери, Флорина Прима, Приам Флорина, Макфри, Гевен, Рома 1, Рома 2, Рома 3, Фридом, Либерти, Сир Прайз, Джонафри, Редфри и др. (Исачкин, Воробьев, 2001; Датуар и др., 2007). На устойчивых сортах инкубационный период развития гриба до 1,5-2 раза короче, чем на восприимчивых (Айтжанова, Андропова, 2013).

Устойчивость сортов может меняться в зависимости от экологических условий, стрессовых воздействиях и других факторов, в т.ч. связанных с большой изменчивостью и экологической пластичностью патогена. В результате сорта могут относительно быстро терять свою устойчивость. Целесообразно в каждой конкретной зоне подбирать наиболее адаптированные по эколого-биологическим и хозяйственным признакам устойчивые к наиболее вредоносным и распространенным болезням сорта.

В зависимости от региона, сезона вегетации, возраста культуры, устойчивости сорта, особенностей местности сроки появления патогенов заметно различаются. Поэтому результаты обследования определенного квартала или отдельного сада, имеющего свои неповторимые особенности нельзя относить к другим, даже близко расположенным. Хорошо налаженная сигнализация сроков появления вредителей и критических периодов заражения болезнями позволяет значительно сократить количество и стоимость обработок. Каждая фунгицидная обработка в производственных условиях должна быть обоснована результатами оперативного фитосанитарного мониторинга. В связи с этим необходимо иметь достоверную информацию о полевой устойчивости и ее динамике у сортов современного сортимента и её изменениях в конкретном районе.

В задачи данных исследований входили следующие:

1. Уточнить динамику развития парши в зависимости от погодных условий и сортовых особенностей яблони и груши в Московском регионе.

2. Выявить влияния анатомо-морфологических особенностей сортов на устойчивость к парше листьев и плодов на этапе проникновения возбудителя.

3. Провести иммунологическую оценку основного сортимента плодовых семечковых культур в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в садах Истринского района Московской области и Людиновского района Калужской области на устойчивость к микозам листьев и плодов.

Методики исследований

Определение начала вылеты аскоспор проводили, анализируя состояние псевдотецьев ранней весной непосредственно в прошлогодних листьях или с использованием спороловущек с последующим микроскопированием спор. Появление симптомов и динамику развития парши выявляли при регулярных учетах, начиная с 3 декады апреля – ежедневно до регистрации первых признаков проявления на разных по устойчивости сортах.

Сравнительный полевой анализ устойчивости к парше был проведен на 4-х основных сортах груши и 28 сортах яблони, а также деревьях яблони, различающихся по сроку посадки (Барсукова, 1991).

При маршрутных обследованиях, проводимых 1 раз в 2 недели, начиная с 1-й декады июня, оценивали визуально распространенность и интенсивность поражения микозами листьев и плодов деревьев яблони и груши разных сортов. Учитывали распространенность болезней (Р %) и развитие болезней (R %) по общепринятым методикам (Белошапкина и др., 2020). Для оценки интенсивности поражения органов (ИП, балл) использовали 5-балльные шкалы (0 – поражение отсутствует; 4 – поражение более 50% поверхности листа (плода). Время проявления парши и

мучнистой росы в фазу цветения проводили при фитосанитарном мониторинге не реже 1 раза в неделю. При обнаружении заболевания определяли степень пораженности по шкале: 0 — поражение отсутствует; 1 — на дереве поражено до 5% побегов и соцветий; 2 — поражено 6-10% соцветий и побегов; 3 — поражено 11 -25% побегов и соцветий; 4 — поражено свыше 25% побегов и соцветий.

Изучение микрорельефа поверхности листьев и ультраструктуры поверхности плодов проводили при участии к.б.н. Т.Х. Кумаховой и к.б.н. А.С. Рябченко на базе лаборатории экологической физиологии ГБС им. Цицина с помощью метода сканирующей электронной микроскопии (метод криоСЭМ) (LEO-1430 VP, Carl Zeiss, Германия) (Кумахова и др., 2014). Серийные ультратонкие поперечные срезы изготавливали на ультрамикротоме (LKB-III). Одновременно учитывали соотношение полноценных, плазмолизированных и деформированных конидий и конидиеносцев возбудителей парши.

Влияние погодных условий и сортовых особенностей растений-хозяев на развитие возбудителей парши

Экологизация защитных мероприятий плодовых семечковых культур от парши, как наиболее вредоносного в регионе заболевания, может быть осуществлена на основе уточнения биологических особенностей возбудителей болезни. Сроки проведения защитных обработок в садах должны приурочиваться к наиболее уязвимым стадиям развития возбудителя заболевания, в частности моменту прорастания спор гриба и начального роста мицелия (Рябчинская, 2002).

Практически во все годы, начиная с 2012, за исключением 2022 г. в Московском регионе сложились погодные условия, не способствующие интенсивному развитию парши на плодовых семечковых культурах. Осадков

в весенний период было меньше или примерно одинаково по сравнению со среднемноголетними показателями, отмечали в целом увеличение температуры в течение всех вегетационных сезонов.

Для изучения сумчатой стадии парши мы проводили микроскопические анализы созревающих в псевдотециях аскоспор возбудителей парши (Рис. 4.2.1).

Начало лёта аскоспор гриба *V. inaequales* и заражение молодых листьев обычно отмечается, когда яблоня находится в фазе начала распускания почек (зелёный конус). В условиях Центральной полосы России это происходит обычно в апреле после сильного дождя и намочания старых листьев. Рассеивание сумкоспор может продолжаться до июля, однако массовое созревание и распространение их происходит между началом распускания листьев, выдвигания - обособление бутонов и до конца цветения (Быстрая, 2002).



Рисунок 4.2.1 – Прорастание созревших аскоспор возбудителя парши груши *Venturia inaequales* (400x)

Выброшенные из псевдотециев аскоспоры ветром или с брызгами дождя достигают кроны дерева и оседают на листьях. При наличии капельно-жидкой влаги аскоспоры прорастают на поверхности листьев. Ростковые

трубки аскоспор пробуравливают кожицу (эпителий), проникают внутрь тканей листа и развиваются в грибницу между эпителием и клетками эпидермиса (Rossi и др., 2001). Температурные границы прорастания аскоспор широкие – от 0,5 до 29°C, оптимальная температура 13-21°C.

В Центральной зоне России рассеивание сумкоспор возбудителя парши яблони может продолжаться до июля, однако массовое созревание и распространение их происходит до цветения – между началом распускания листьев, выдвижения – обособление бутонов и до конца цветения. Их прорастание возможно уже при температуре 2-3°C, однако оптимальной является 19-25°C. Для проникновения в ткань гифы используют механические повреждения (Колесова, Чмырь, 2006).

По результатам исследований Г.В. Якубы (2002) в северной зоне Юга России плодовые тела возбудителя парши яблони закладываются чаще в конце зимы. Период от начала их формирования до появления конидиального спороношения составляет от 3,5 до 5 месяцев, до окончания разлета аскоспор – от 3,5 до 6 месяцев. Установлено увеличение периода освобождения зимующей инфекции до 2-3,5 месяцев в начале XXI века, что в 2 раза продолжительнее по сравнению с 60-70-ми годами XX века.

По нашим данным массовое созревание и вылет аскоспор возбудителя парши яблони в Московском регионе происходили в зависимости от сорта в 2012 году – в период с 25 апреля по 2 мая; в 2013 году – с 8 по 14 мая, и раньше всего – 27 марта в 2014 году (Табл. 4.2.1).

Начало массового созревания и начало вылета аскоспор были приурочено к фазе распускания почек (зелёный конус) на груше и яблоне.

Первые признаки парши появляются на листьях в виде желтоватых, затем серо-черных пятен с бархатистым налетом. Сроки первичного инфицирования определяли по массовому созреванию аскоспор в псевдотециях и появлению хлоротично-маслянистых пятен на листьях с учетом температуры воздуха и количества осадков.

Заражение паршой листьев яблони в 2012 г. предположительно произошло в первой декаде мая, первые пятна парши отмечены 22-28 июня; в 2013 г. – чуть раньше, 16-25 июня, а в 2014 г. симптомы проявились достаточно поздно 22 июня и из обследуемого сортимента только на восприимчивом сорте Мелба.

Таблица 4.2.1

Сроки начала вылета аскоспор и проявления первых симптомов парши на листьях яблони (Мичуринский сад РГАУ-МСХА)

Сорта	2012		2013		2014	
	Вылет аскоспор	Первые симптомы	Вылет аскоспор	Первые симптомы	Вылет аскоспор	Первые симптомы
Зимняя красавица	2 мая	28 июня	8 мая	-	-	-
Бессемянка Баранцевой	2 мая	-	8 мая	25 июня	-	-
Антоновка обыкновенная	26 апреля	22 июня	14 мая	-	-	-
Мелба	2 мая	26 июня	14 мая	16 июня	27 марта	22 июня
Орловский пионер	25 апреля	-	-	-	-	-
Уэлси	25 апреля	26 июня	8 мая	25 июня	-	-

Примечание: знак «—» обозначает отсутствие сумчатого спороношения возбудителя и (или) симптомов поражения паршой

На изучаемых сортах груши вылет аскоспор происходил практически одновременно: 20 апреля в 2012 г., 30 апреля в 2013 г., а в 2014 г. почти на месяц раньше, 26-28 марта. (Табл. 4.2.2).

В 2012 и 2014 гг. первые симптомы парши груши, с учетом начала вылета аскоспор, появились на 7-15 дней позднее, чем в 2013 г. Первоначально мы отметили их на листья груши наиболее восприимчивых

сортов Кафедральная и Белорусская поздняя раньше всего в 2013 г. (17 мая), а позднее всего – в 2012 г. (5 июня). На более устойчивом сорте Академическая симптомы во все годы исследований появлялись на одну-три недели позднее. На листьях сорта Память Анзина симптомы парши не были зарегистрированы.

Таблица 4.2.2

Сроки начала вылета аскоспор и проявления первых симптомов парши на листьях груши (Мичуринский сад РГАУ-МСХА)

Сорта	2012		2013		2014	
	Вылет аскоспор	Первые симптомы	Вылет аскоспор	Первые симптомы	Вылет аскоспор	Первые симптомы
Кафедральная	20 апреля	5 июня	30 апреля	17 мая	26 марта	23 мая
Белорусская поздняя	20 апреля	5 июня	30 апреля	17 мая	26 марта	23 мая
Академическая	20апреля	25 июня	30 апреля	7 июня	28 марта	30 мая

При определении сроков первой фунгицидной защитной обработки против парши следует учитывать, что массовый вылет аскоспор возбудителей растянут и происходит на сортах груши в период с 26 марта по 30 апреля, а на яблоне – с 27 марта по 14 мая, в основном в фазу распускания почек (зеленый конус). Первые симптомы появились на листьях исследуемых сортов яблони и груши в среднем через 1 месяц после начала вылета аскоспор. Первоначально парша проявлялась на листьях груши, а на яблоне в зависимости от степени устойчивости сорта, признаки поражения паршой выявлялись на 1-3 недели позднее, чем на груше.

С момента заражения начинается переход от сапротрофной фазы к паразитированию, которая длится до конца вегетационного периода. Выделяется этап первичного заражения паршой, который может вызываться не только сумкоспорами, но и конидиями. Споры парши присутствуют в

крене дерева практически постоянно, но наибольшее их количество – в периоды активного их рассеивания во время дождя или сразу после его выпадения (Колесова, 2006).

Вторичное заражение листьев и плодов происходит паразитической конидиальной стадией *Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuck. с помощью спор бесполого размножения – конидий, которые образуются в нескольких поколениях. Процесс заражения и его степень зависят от продолжительности увлажнения и температуры воздуха. Конидии, как и аскоспоры, прорастают только при наличии капельно-жидкой влаги при оптимальной температуре 16-22°C, инкубационный период составляет 5-6 дней (Колесова, 2006). При этом увлажнение определяется не только дождями, но и наличием тумана и выпадений по ночам росы. Поэтому нередко сильное поражение паршой отмечается и в сухое жаркое лето при обильных росах.

В Мичуринском саду поразились листья и плоды яблони и груши, в незначительной степени чашелистики и плодоножки, на коре молодых побегов признаков поражения ни на одном обследуемом сорте культур не было выявлено. На листьях наблюдали размытые желтоватые пятна, которые позднее стали зеленовато-бурого цвета, и на их поверхности стал заметен слабый плотный бархатистый серо-оливковый налет спороношения. На листьях груши пятна парши расположены были в основном на нижней стороне, а на листьях яблони - на верхней стороне (Рис. 4.2.2).

Динамику поражения паршой листьев и плодов в течение вегетации изучали в 4-х учетах на одних и тех же деревьях (Табл. 4.2.3).

На плодах груши и яблони появлялись единичные круглые, темного цвета пятна, иногда выпуклые, на их поверхности образовывался слабый серо-черный налет (рис. 4.2.3). Молодые плоды груши плохо росли.

Отмечали увеличение количества пораженных паршой листьев и нарастание интенсивности их поражения, как на груше, так и на яблоне к августу, т.е. к концу вегетации, по сравнению с ранними фазами развития

растений-хозяев. В целом, распространенность и развитие парши груши были в годы исследований больше, чем парши яблони.



Рисунок 4.2.2 – Типичные симптомы парши на листьях груши сорта Белорусская поздняя (слева) и начальные симптомы парши на листьях яблони сорта Мелба (справа)



Рисунок 4.2.3 – Симптомы парши на плодах яблони с разной интенсивностью поражения

Динамика распространенности (P, %) и развития (R,%) парши груши и яблони на листьях в течение вегетации (Мичуринский сад РГАУ-МСХА)

Сроки учетов, фаза растения	2013г.		2014г.	
	P	R	P	R
Груша сорт Белорусская поздняя				
распускание листьев	38,3	2,9	26,8	9,2
конец цветения	41,6	3,6	31,3	8,9
"грецкий орех"	43,3	5,4	35,5	15,8
за 1 мес.до уборки	54,2	6,8	40,6	19,3
Яблоня сорт Мелба				
распускание листьев	17,5	6,15	14,8	12,8
конец цветения	18,3	10,6	19,6	16,8
"грецкий орех"	20,0	15,8	23,8	18,6
за 1 мес.до уборки	23,8	17,8	26,6	20,3

Иммунологическая полевая оценка устойчивости к микозам основного сортимента яблони и груши

Возбудители парши отличаются большой изменчивостью и экологической пластичностью, в природе идет естественный отбор агрессивных форм патогенов, в результате которого сорта относительно быстро теряют свою устойчивость. Поэтому очень важно иметь достоверную информацию о полевой устойчивости и ее динамике у сортов современного сортимента и её изменениях у старых сортов.

В результате фитосанитарного мониторинга болезней яблони в 2012-2018 гг. в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в садах Истринского района Московской области и в районах Калужской области, установлено, что доминирующими болезнями на яблоне были: парша (возбудитель *Venturia inaequalis* Wint.), филлостиктоз (*Phyllosticta mali* Prill et

Del.) и плодовая гниль (*Monilia fructigena* Pers.); на груше – парша (*Venturia pirina* Aderh.) и ржавчина (*Gymnosporangium sabinae* Wint.). Незначительная распространенность в отдельных садах была установлена для мучнистой росы (*Podosphaera leucotricha* Salm.) на листьях яблони и мухоседа (*Leptothyrium pomi* Sacc.) на плодах яблони.

В садах Людиновского района Калужской области обследовали сорта яблони. Распространённость филлостиктоза достигала 100%, а развитие его – 60%, для парши эти показатели на листьях достигали, соответственно, 90% и 60%. У большинства сортов распространенность не превышала 65%, а развитие болезни варьировало от 18 до 27%.

Парша на листьях отмечена на всех сортах, кроме Болотовского, Свежести и Иманта. Минимальное поражение отмечено на деревьях сорта Веняминовское (P = 1,8%; R = 1,4%). Самыми восприимчивыми к парше сортами оказались Пепин Шафранный, Антоновка, Богатырь и Ветеран (P - более 50%, R - от 26 до 37%). Парша на плодах отсутствовала на сортах Болотовское, Свежесть, Веняминовское и Имант; вызывала незначительное поражение на Строевском (P = 2,0%; R = 1,0%). Максимально поражены паршой были плоды сортов Пепин Шафранный, Антоновка, Богатырь и Ветеран (P - от 38 до 89,5%, R - от 7,8 до 35,2%).

На обследуемых сортах филлостиктоз, или бурая пятнистость листьев (*Phyllosticta* sp.) проявлялся мелкими овальными пятнами светло-желтого, серого и буроватого цвета с малозаметным темно-коричневым ободком. Наименее поражен болезнью был сорт Богатырь (P = 29,8%; R = 7,9%). Остальные сорта были поражены в значительно большей степени; распространенность болезни на них составила более 65%, а развитие болезни от 18 до 27%. Из обследуемых 26 сортов с комплексной устойчивостью к филлостиктозу и парше не выявили (Белошапкина и др., 2019)

Распространенность монилиальной плодовой гнили (*Monilia fructigena* Pers) была максимальной на сортах Имрус и Свежесть (58-70%), проявлялась округлыми участками коричневой гниющей ткани с многочисленными серо-

белыми подушечками спороношения в виде концентрических кругов. Средняя распространенность отмечена на Вениаминовском и Антоновке (Р - до 30%); Ветеран, Строевское, Болотовское имели единичные поражения (Р - до 2%). Среди плодов Имант и Пепин Шафранный не было пораженных плодовой гнилью.

Следует отметить, что в промышленных садах Центрального Нечерноземного региона, включая Калужскую область, появилась мучнистая роса (*Podosphaera leucotricha*) на побегах, которые покрываются серовато-белым мучнистым налетом, постепенно приобретающим рыжеватый оттенок. Сильно пораженные листья медленно развиваются, складываются в лодочку вдоль главной жилки. Болезнь была отмечена на деревьях сортов Ветеран (Р = 2,9%; R = 0,5%) и Строевское (Р = 3,9%; R = 3,0%).

К комплексу грибных болезней среднеустойчивыми были сорта Свежесть и Строевское.

Фитосанитарный мониторинг болезней яблони и груши был проведен в 2012-2018 гг. в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на 28 новых и перспективных сортах и старых 5 сортах яблони в молодом саду, 2011 г. посадки, и на 12-13-летних яблонях, 1999 г. посадки и на 4 сортах груши. На основе визуальной оценки интенсивности поражения (ИП) сортов яблони паршой провели их иммунологическую оценку (Табл. 4.2.4).

По нашим данным, такие сорта российской селекции как Гулливер, Звездочка, Бессемянка Баранцевой, Московское позднее, Осенняя радость, Десертное Будаговского, Болотовское и Калужанка не поражались паршой в течение 2012 года. Сорта Богатырь, Спартан, Морозовское, Смуглянка, Боровинка ананасная и клон Грушевки московской проявили высокую устойчивость к парше, при этом развитие болезни не превышало 1,5%.

Другие обследуемые нами сорта: Мелба, Синап Орловский, Рубин, Память Будаковского, Память воину, были восприимчивыми к парше и имели распространенность болезни 100%, а развитие достигало 12%. На сортах Московское зимнее, Мантет, Шаропай, Зимняя красавица

распространенность была 70-80%, а развитие до 6%. Примерно такое же развитие болезни, хотя и меньшую распространенность (50%) имели сорта Студенческое, Жигулевское, Память Мичурина, Находка Лебедянска, Уэлси - их также можно считать среднепоражаемыми.

Эта же закономерность по степени устойчивости сортов была нами отмечена и в 2013 году, при этом развитие болезни в среднем для большинства сортов было больше на 1,7-2,5%. В 2014 и 2015 гг. были получены сходные результаты иммунологической оценки устойчивости к парше данных сортов яблони.

Таблица 4.2.4

Полевая оценка пораженности паршой листьев сортов яблони (2012 г., Мичуринский сад РГАУ-МСХА)

Сорт	ИП, балл	P, %	R, %	N п/п	Сорт	ИП, балл	P, %	R, %
Мелба	1,3	100	8,7	15	Звездочка	0	0	0
Синап Орловский	1,0	100	6,7	16	Зимняя красавица	1	80	5,0
Богатырь	0,4	40	1,1	17	Морозовское	0,3	30	0,7
Московское зимнее	0,6	70	2,6	18	Уэлси	0,5	50	4,2
Спартан	0,2	20	0,3	19	Жигулевское	0,5	50	2,1
Память Мичурина	0,5	50	2,1	20	Бессемянка Баранцевой	0	0	0
Мантет	1,1	80	5,9	21	Боровинка ананасная	0,3	30	1,2
Шаропай	0,3	70	2,5	22	Осенняя радость	0	0	0
Рубин	1,3	100	11,8	23	Грушевка московская	0,3	30	1,2
Студенческое	0,8	50	2,5	24	Московское позднее	0	0	0
Гулливер	0	0	0	25	Десертное Будаговского	0	0	0
Память Будаковского	1,0	100	6,7	26	Находка Лебедянска	0,5	50	2,8
Память воину	1	100	6,7	27	Смуглянка	0,3	30	1,2
Болотовское	0	0	0	28	Калужанка	0	0	0

В процессе исследования мы вели учеты пораженных листьев и плодов паршой на сортах груши: Белорусская поздняя, Кафедральная, Академическая и Память Анзина (1999 года посадки). Первые два сорта по обобщенным результатам 3-х лет исследований проявили себя как малоустойчивые к парше (P 29-84%, R до 47%), хотя сорт Кафедральная по описанию в литературных источниках характеризовался, как устойчивый (Кириллов, 2013). В неблагоприятном из-за засухи для растений 2014 году пораженность его листьев и плодов паршой была меньше, чем у Белорусской поздней и Академической (Табл. 4.2.5).

Таблица 4.2.5

Результаты оценки пораженности паршой листьев и плодов сортов груши (2014 год, Мичуринский сад РГАУ-МСХА)

Сорт	Листья		Плоды	
	P%	R%	P%	R%
Белорусская поздняя	44,4±3,42	33,3±2,55	32,5±4,33	12,5±4,2
Кафедральная	29,4±3,8	11,3±3,009	25,0±3,25	12,5±3,85
Академическая	41,3±3,31	20,7±1,65	32,5±2,64	16,3±2,33

Последний сорт можно отнести к среднеустойчивым (P8-40%, R3-20%), хотя в 2014 году распространенность и развитие болезни на ее листьях и плодах были выше, чем на Белорусской поздней и Кафедральной. У сорта Память Анзина в течение всех лет исследований не поражались паршой листья и плоды.

Листья сортов груши Кафедральная, Белорусская поздняя и Академическая имели в среднем распространенность парши от 30 до 45%, развитие 20-30%, а по плодам эти показатели были, соответственно, 25-32% и 12-16%.

Рекогносцировочное обследование сада в Истринском районе Московской области в августе 2017 года показало, что устойчивыми к парше

груши были сорта Лада, Чижовская и Кафедральная. А растения сорта Любимица Яковлева паршой не были поражены. Сорт груши Велеса имел незначительные поражения, как паршой, так и ржавчиной.

По данным других исследователей высокоустойчивыми и иммунными в средней полосе России являются сорта яблони: Скала, Фрегат, Орловим, Имрус, Первинка, Кандиль Орловский, Красуля, Афродита, Свежесть, Курнаковское, Болотовское, Успенское, Скала, Чистотел, Старт, Благовест, Солнышко, Веняминовское, Былина, Строевское, Юбиляр, Чародейка. Из них новые высокопродуктивные с моногенной устойчивостью к парше считаются сорта: Благовест, Флагман, Фрегат, которые обладают высокой экономической эффективностью; из зарубежных иммунными являются сорта: Гевин, Либерти, Прайм, Присцилла, Флорина, Фридом, Редфри.

Большинство сортов яблони с генами Vr и Vf еще сохраняют генетический иммунитет к существующим расам парши и не имеют признаков преодоления устойчивости в условиях средней полосы России (Савельева, 2008).

Таблица 4.2.6

Полевая оценка пораженности листьев паршой яблони разного возраста (2014 г., Мичуринский сад РГАУ-МСХА)

Сорт	3-х летние растения		12-13 –летние растения	
	ИП, балл	R, %	ИП, балл	R, %
Зимняя красавица	1,0	5,0	1,7	6,3
Орловский пионер	0,0	0,0	1,5	2,7
Бессемянка Баранцевой	0,0	0,0	1,5	6,0
Мелба	1,3	5,7	2,1	6,7
Шаропай	0,3	2,5	0,9	3,5
Память воину	1,0	6,7	1,3	8,9
Уэлси	0,5	4,2	1,0	5,8

В результате полевой оценки устойчивости яблони к парше нами было установлено не только сортовые различия, но и что с возрастом деревьев

устойчивость к поражению данным заболеванием яблони снижалась (Табл. 4.2.6). При этом возрастала как интенсивность их поражения, так и развитие парши на листьях.

В садах Людиновского района Калужской области интенсивность поражения старых деревьев (посадки 1987 г.) также была гораздо сильнее, чем в молодом саду (посадки 2009 г.), хотя видовой состав болезней в старом саду был меньшим.

Было выявлено снижение со временем степени полевой устойчивости к парше на примере сорта Уэлси. Ранее в 80-90е годы XX века он характеризовался как высокоустойчивый к парше (Якуба, 2002), а в настоящее время значительно снизил свою устойчивость, особенно на взрослых плодоносящих растениях. Полученные данные по изменению устойчивости этого сорта совпадают с материалом исследований И.М. Зуевой (2000), которая показала, что Уэлси из группы сортов слабопоражаемых паршой перешел в группу среднепоражаемых. Она также указывает, что в ЦЧР наблюдается тенденция снижения устойчивости к парше у сортов Жигулевское, Мелба и Вишневое. Ранее относительно устойчивый сорт Вишневое приблизился по восприимчивости к слабопоражаемым сортам, а сорт Жигулевское стал относиться к сильнопоражаемым. Восприимчивость сорта Мелба увеличилась, в основном, за счет большей поражаемости плодов.

У ряда сортов, выращиваемых в южной зоне РФ, также выявлено снижение степени полевой устойчивости к парше. Наиболее значительное выявлено у сортов Боровинка, Бел де Бок, Норис, Опалессент, Пармен зимний золотой, Слава победителям, Суйслепское, Уэлси, Эрли Блейз (Ефимова, 2013; Якуба, Ефимова, 2002).

Большой проблемой на груше в средней полосе России в настоящее время является ржавчина, заболевание вызываемое грибом отдела Базидиомикота порядка Ржавчинные - *Gymnosporangium sabinae*. Одной из причин ее широкого распространения является активное высаживание

можжевельника в качестве декоративного растения, многие виды которого (казацкий, красный, высокий) служат основными хозяевами гриба-возбудителя с развитием на нем телиостадии. У можжевельника деформируются и усыхают побеги, бурет хвоя. Развившиеся в коре и древесине можжевельника впоследствии базидиоспоры, разносятся ветром и могут поражать листья груши в радиусе до 5 км. Поскольку период образования базидиоспор на можжевельнике растянут, то и заражение листьев груши может происходить в течение 1,5-2 месяцев.



Рисунок 4.2.4 – Типичные симптомы ржавчины на листьях и плоде груши

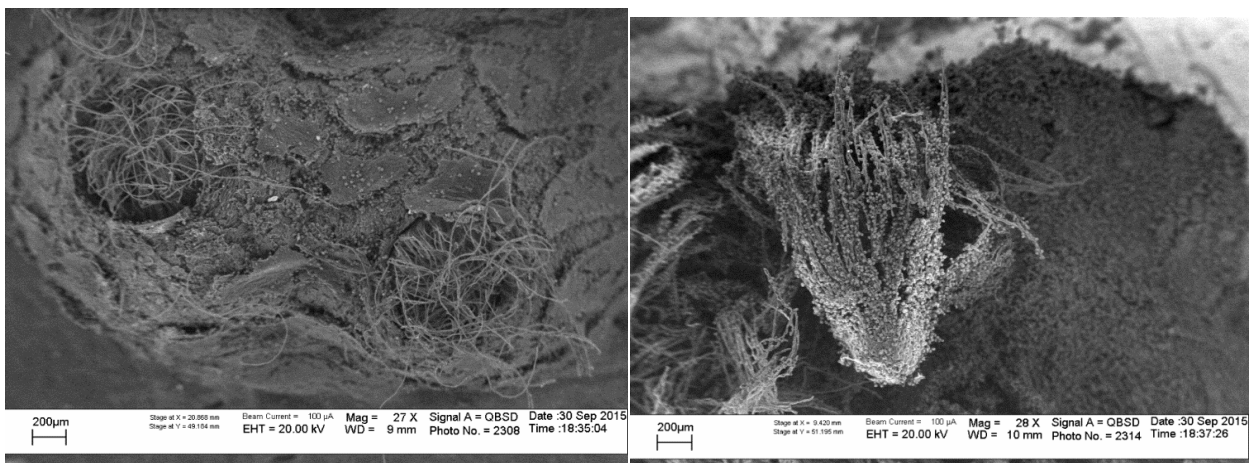


Рисунок 4.2.5 – Фрагменты микроструктур возбудителя ржавчины груши с выходом эциального спороношения из листа (вверху) и плода (внизу) x 1000

Первыми признаками поражения ржавчиной растений груши являются желтовато-оранжевые пятна с чёрными точками на верхней стороне листьев и на плодах (спермации со спермагониями) (рис. 4.2.4). В конце лета на нижней стороне листьев под пятнами, реже на плодах и побегах образуются червеобразные выросты – эции (рис. 4.2.5). При сильном развитии болезни деревья ослабевают, снижается их продуктивность, товарные качества плодов и жизнеспособность. По результатам наших наблюдений в разных насаждениях было установлено, что распространенность ржавчины по частям кроны у разных сортов груши в значительной степени отличалась. В целом наибольшее поражение было на листьях нижней части кроны. Данные по динамике распространенности заболевания за 2016 и 2017 годы представлены в таблицах 4.2.6 и 4.2.7 соответственно (в – верхняя часть кроны, с – средняя, н – нижняя) (Фесютин, 2021). Максимальное поражение нижней части кроны в значительной степени объясняется наименьшей освещенностью, повышенной влажностью и малой степенью проветриваемости.

В 2016 году поражение отсутствовало у сорта Надежда и комбинаций Бураковка + Зимняя Сухова и Тихоновка + Зимняя Сухова. Из всех пораженных сортов наименьшая распространенность ржавчины наблюдалась у сортов Крупноплодная Сухова, Бураковка, Карамельная, Осенняя Яковлева, Нарядная Ефимова и Гера (Табл. 4.2.7).

В 2016 году наиболее сильно поражались ржавчиной груши сорта Маргарита, Лада, Кафедральная, Лёжкая Сухова, Память Жегалова, Академическая, Москвичка, Чижовская и Мальвина, которые имели средний балл поражения от 1,0 до 2,0. Менее подвержены поражению ржавчиной были сорта Белорусская поздняя, Память Яковлева, Отрадненская, Гера, Нарядная Ефимова, Осенняя Яковлева, Карамельная, Бураковка, Крупноплодная Сухова, средний балл поражения варьировал от 0,4 до 0,9. Не отмечено поражение ржавчиной сортов Надежда, Бураковка с прививкой Зимней Сухова в крону и Тихоновка с прививкой Зимней Сухова в крону.

В 2017г. обследуемые сорта также были поражены ржавчиной в разной степени. Наименьшая распространенность была отмечена у сортов Надежда, Память Жегалова, Бураковка, Кафедральная, Русская Молдавка, Тихоновка с прививкой в крону Зимней Сузова и Бураковка с прививкой в крону Чижовской.

Таблица 4.2.7

Динамика распространенности ржавчины груши в течение вегетационного сезона 2016г, %

Сорт Дата	26.07.2016			10.08.2016			19.08.2016			29.08.2016			14.09.2016			28.09.2016			Сред нее значе ние
	в	с	н	в	с	н	в	с	н	в	с	н	в	с	н	в	с	н	
Маргарита	0,0	1,4	2,1	0,0	2,5	3,5	0,0	3,9	6,1	0,0	5,8	7,8	3,3	6,5	10,2	4,0	8,0	12,0	8,0
Кафедральная	0,6	1,3	1,6	1,1	2,2	3,5	1,6	4,0	6,0	2,4	6,7	8,5	3,6	7,4	10,2	4,0	8,0	10,8	7,6
Лада	0,6	0,9	1,4	0,6	2,1	3,2	0,6	3,2	4,5	2,0	4,5	6,2	3,4	5,9	8,0	3,6	8,0	9,6	7,1
Лежкая Сузова	0,0	0,0	1,8	0,0	2,0	2,9	2,0	3,5	4,2	2,0	4,8	5,8	2,9	6,5	7,0	4,0	8,0	8,0	6,7
Память Жегалова	0,0	0,6	1,5	0,0	2,0	2,9	0,8	3,1	4,3	1,4	4,2	6,5	1,8	6,0	8,0	2,0	8,0	8,0	6,0
Москвичка	0,0	0,8	1,9	0,0	1,4	3,1	0,0	2,6	4,5	0,5	3,8	6,1	1,3	4,5	8,2	1,3	5,3	9,2	5,3
Академическа	0,0	0,5	1,5	0,5	1,5	2,4	1,1	2,2	3,8	1,8	3,0	5,0	2,1	3,4	6,5	2,8	4,0	7,6	4,8
Чижовская	0,0	0,0	1,1	0,0	0,8	2,5	0,5	1,3	3,2	1,0	3,6	4,1	1,8	4,4	4,8	3,2	4,0	5,2	4,1
Мальвина	0,0	0,5	1,1	0,8	1,2	1,8	1,5	1,8	2,5	2,1	2,5	3,1	3,0	3,2	3,6	4,0	4,0	4,0	4,0
Белорусская поздняя	0,0	0,5	0,8	0,0	1,5	2,0	0,6	2,4	2,5	1,0	3,1	3,5	1,5	3,6	4,2	2,0	4,0	4,8	3,6
Отрадненская	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	2,7	0,0	1,3	3,6	0,0	2,7	4,2	1,3	3,5	5,0	1,3	4,0	5,2	3,5
Память Яковлева	0,0	0,8	1,1	0,0	1,4	1,9	0,6	2,1	2,5	0,8	2,8	3,4	2,1	3,3	4,2	1,2	4,0	4,8	3,3
Гера	0,0	0,6	0,8	0,0	1,5	1,6	0,0	2,0	2,5	0,0	3,0	3,1	0,0	3,5	4,0	0,0	4,0	4,0	2,7
Нарядная Ефимова	0,0	0,6	1,1	0,0	1,5	1,9	0,0	2,1	2,6	0,0	2,8	3,2	0,0	3,4	3,5	0,0	4,0	4,0	2,7
Осенняя Яковлева	0,0	0,8	0,0	0,4	1,5	0,5	0,8	2,0	1,2	1,3	2,8	1,5	1,8	3,5	2,0	2,0	4,0	2,0	2,7
Карамельная	0,0	0,5	1,4	0,0	1,3	2,1	0,0	2,2	2,8	0,0	3,1	3,5	0,0	3,8	4,0	0,0	4,0	4,0	2,7
Бураковка	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,2	0,0	2,1	1,8	0,0	3,0	2,5	0,0	3,5	3,1	0,0	4,0	4,0	2,7
Крупноплодна я Сузова	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,0	1,0	1,2	0,0	1,5	1,8	0,0	2,0	2,1	0,0	2,4	2,4	1,6
Надежда	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Бураковка + Зим. Сузова	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Тихоновка + Зим. Сузова	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

В среднем по годам листья сортов Белорусская поздняя, Бураковка, Карамельная, Крупноплодная Сусова, Нарядная Ефимова, Отрадненская, Русская Молдавка, поражались незначительно (ИП=0,5-1балл). Сорта Академическая, Гера, Чижовская, Кафедральная, Лада, Лёжкая Сусова, Мальвина, Маргарита, Москвичка, Осенняя Яковлева, Память Жегалова и Память Яковлева более сильно были подвержены поражению (ИП=2-3 балла). Максимальное проявление поражения листьев ржавчиной отмечено в июле - августе. У старых растений груши 1980 года посадки поражение листьев ржавчиной было больше, чем у более молодых, посаженных в 2000 году. Тип подвоя и скелетообразователя у ряда сортов повлиял на распространенность ржавчины, что было установлено для деревьев сортов Бураковка и Память Яковлева.

***Структурные особенности поверхности листьев и плодов разного
возраста у устойчивых и восприимчивых сортов, как факторы
пассивного иммунитета***

Хотя возбудитель парши при благоприятных условиях температуры и влажности поражает растения практически в течение всего периода вегетации, существуют определенные уязвимые фазы, как в развитии листьев, так и плодов, определяемые морфолого-анатомическими и биохимическими особенностями. В ходе роста и развития листовой аппарат претерпевает возрастные и связанные с ним структурные изменения (Кумахова и др., 2014), которые, с большой вероятностью, влияют на устойчивость к парше на этапе проникновения патогена.

Механизмы инициации и развития возрастной устойчивости к парше в достаточной мере пока не изучены. Применение методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) для изучения поверхности листьев и плодов яблони в ходе развития позволило значительно глубже проникнуть в

особенности организации эпидермы и полнее охарактеризовать ее функциональное значение в формировании устойчивости.

Исследуя методом криоСЭМ поверхность эпидермы листа груши (Белешапкина, 2014), выявили, что на участке некроза с видимым налетом наблюдалась высокая плотность жизнеспособного конидиального инокулюма; присутствовали многочисленные хорошо выполненные, в основном двухклеточные конидии и длинные, выполненные конидиеносцы гриба (Рис. 4.2.6).

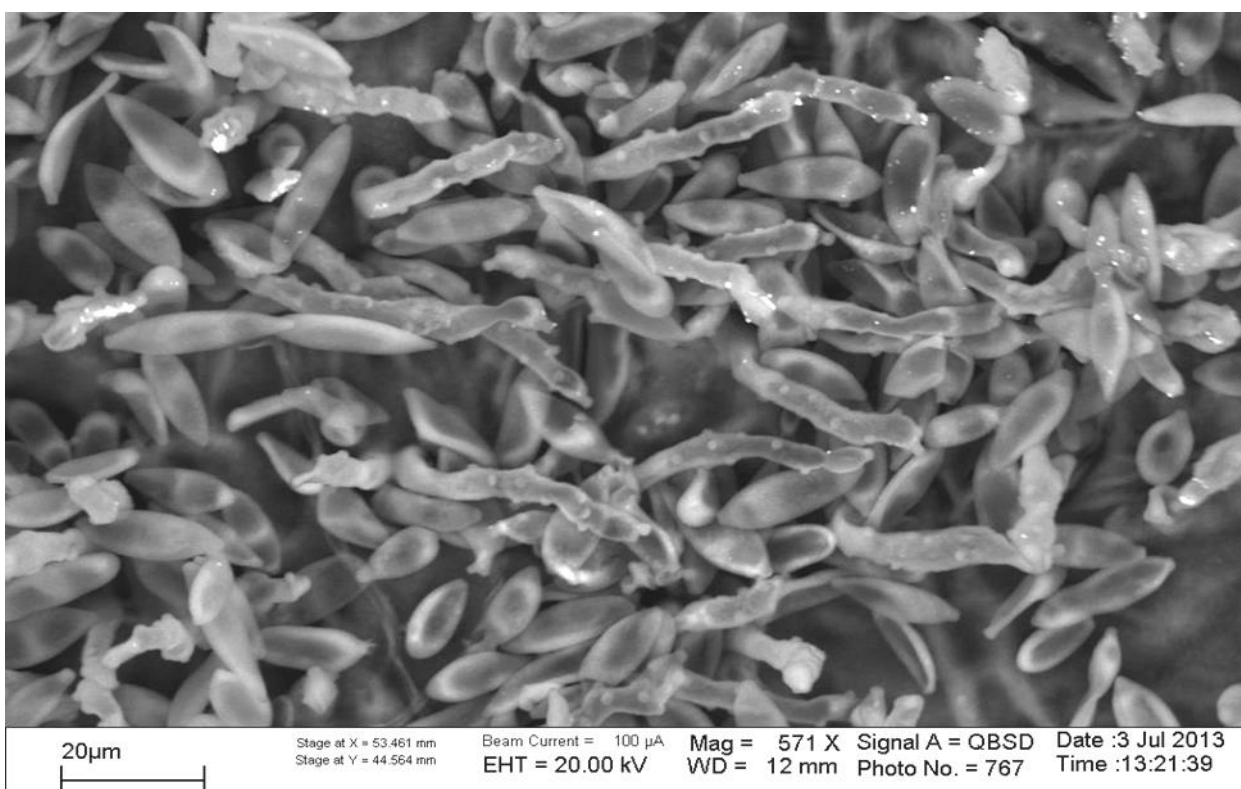


Рисунок 4.2.6 - Общий вид жизнеспособных конидий и конидиеносцев *Fusicladium pirinum* Fuck. на листьях груши сорта Кафедральная

Полноценные, характерные для вида *F. dendriticum* споры бесполого размножения – конидии обратнобулавовидные, яйцевидные или грушевидные, размером 13-30 x 6-12 мкм, они вначале одноклеточные, потом двухклеточные, оливковые; конидиеносцы скрученные, прямостоячие, размером 20-40 x 5 мкм (Колесова, Чмырь, 2006). Коэффициент вариации размера конидий возбудителя парши яблони *F. dendriticum* Fuckel составлял от 15,24 до 18,27 %, при этом вариабельность увеличивалась в

благоприятных для парши условиях развития, и отмечалась значительная корреляция между размером этих спор и их жизнеспособностью. Под влиянием обработок фунгицидов и агрохимикатов значительно изменялись размеры, структура конидий и конидиеносцев возбудителей парши яблони и груши (Белошапкина и др., 2015; Белошапкина, Рябченко, 2015) Подобную тенденцию морфологических изменений конидий мы также наблюдали у возбудителя мучнистой росы розы под влиянием фунгицидов и регуляторов роста (Белошапкина, Сафронова, 2010).

Когда гифы гриба проникают в ткани растения через кутикулу, выделяя фермент-кутиназу, разрушающий кутикулярный покров, важное значение имеет строение и характер ее отложений (Рис. 4.2.7).

У относительно устойчивого сорта яблони Солнышко и восприимчивого сорта Мелба была выявлена разница в высоте и характере складчатости, которые можно рассматривать как факторы пассивного иммунитета, определяющие устойчивость на этапе проникновения возбудителя парши (Кумахова и др., 2019; Beloshapkina и др., 2014; Kumatkhova и др., 2019). Характер отложений и строение кутикулярного и воскового покровов играют роль механического барьера на пути патогенных грибов и бактерий, которые зачастую в большом количестве находятся на поверхности растений. Обладая водоотталкивающими свойствами, эти структуры плохо смачиваются, и скатывающиеся капли воды довольно эффективно очищают поверхность растений от различных патогенов и предотвращают возникновение благоприятной для их развития влажной среды (Паутов и др., 2008). Как было нами обнаружено, у молодых листьев кутикула более тонкая, чем на поверхности зрелых листьев (Рис. 4.2.7). Это доказывает утверждение о том, что самыми восприимчивыми к заражению паршой в процессе онтогенеза являются листья 8-14 дневного возраста, а через 10-15 дней они становятся невосприимчивыми (Белошапкина и др., 2018; Колесова, Чмырь, 2006).

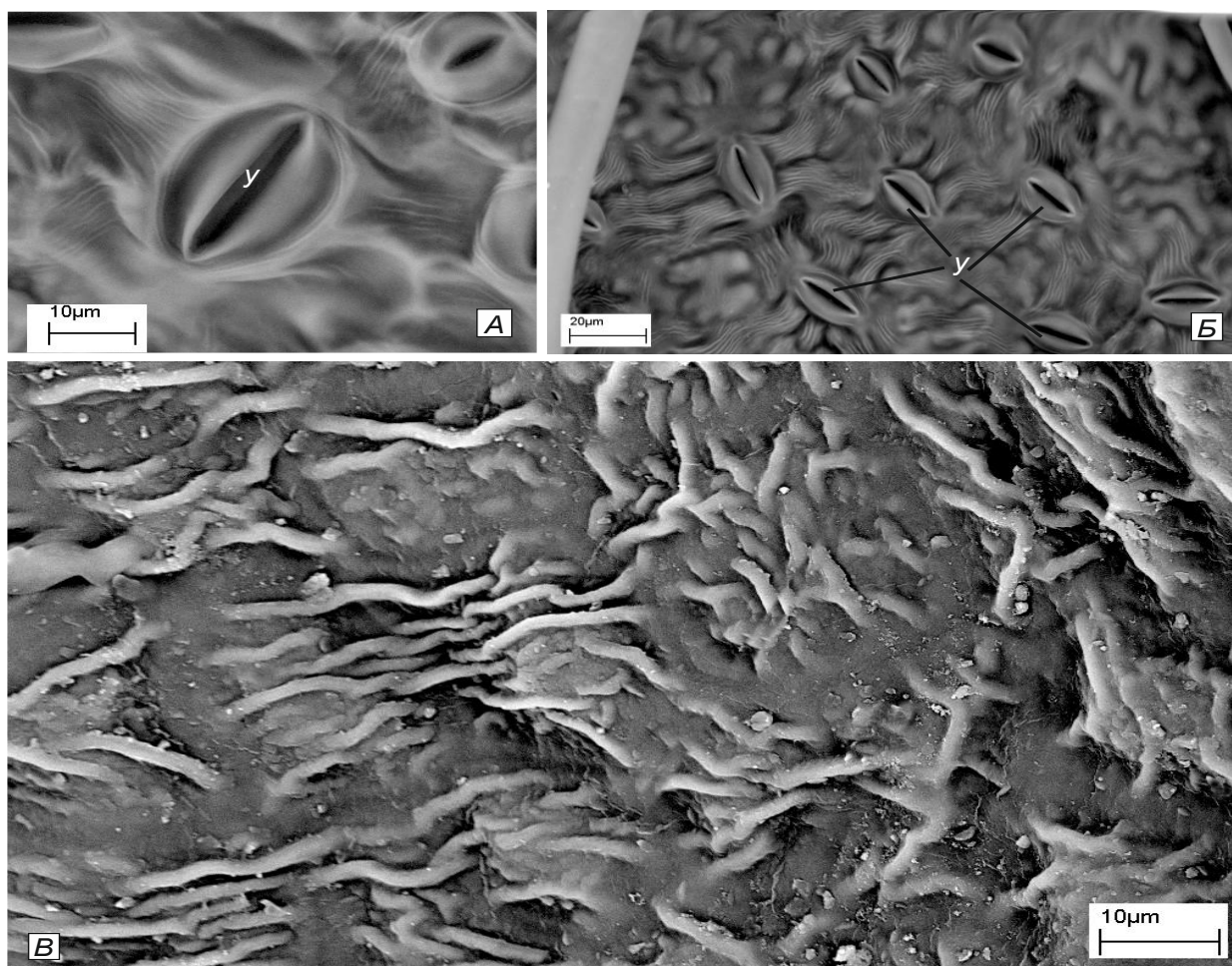


Рисунок 4.2.7 – Фрагменты микроструктуры листа яблони устойчивого сорта Солнышко: А - абаксиальная поверхность молодого листа (8-10 дней); Б, В - абаксиальная и адаксиальная поверхности зрелого листа (22-25 дней) соответственно (обозначения: у – устьице)

Для листьев изученных сортов яблони был характерен своеобразный микрорельеф поверхности эпидермы. В зоне устьиц образуются в разной степени выраженные своеобразные кутикулярные складки и перистоматические кольца. Кутикулярная складчатость значительно уменьшает смачиваемость поверхности листа: капли воды вследствие высокого поверхностного натяжения касаются только внешних краев кутикулярных гребней и скатываются с эпидермы. Благодаря этому эффекту споры грибов, которые не очень прочно зацеплены за складки кутикулы, могут легко смываться. Поэтому развитие грибов на поверхности растений и его проникновение во внутренние ткани становятся довольно

затруднительными, что является одним из факторов устойчивости растений к возбудителю парши на этапе проникновения инфекционных структур.

Возможно, по этой причине гифы гриба *V. inaequalis* были обнаружены нами больше всего на листьях сортов малоустойчивых к парше, имеющих относительно слабо выраженные кутикулярные складки в зоне устьиц.

Плоды разных сортов яблони также различались по строению и характеру отложений кутикулярного и воскового покровов (в виде пластин, стерженьков, ушкообразной формы и др.), влияющих на степень заселения грибными патогенами (Кумахова и др., 2014) (Рис. 4.2.8 А-В).

Наиболее сильное заражение плодов также происходит на ранних стадиях развития. В наших исследованиях плоды яблони с сильно кутикульной поверхностью и мощным восковым покровом не были инфицированными возбудителем парши (Кумахова и др., 2019).

Согласно полученным материалам и литературным данным для Московского региона на примере Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева были определены наиболее перспективные высокоустойчивые к парше сорта яблони (Гулливер, Звездочка, Бессемянка Баранцевой, Московское позднее, Осенняя радость, Десертное Будаговского, Болотовское, Калужанка), у которых развитие болезни не превышало 1,5%; устойчивым к парше является сорт груши Память Анзина, у которого не поражались паршой листья и плоды. Высокую устойчивость к ржавчине груши проявили сорта Надежда, Память Жегалова, Бураковка, Кафедральная, Русская Молдавка, Тихоновка с прививкой в крону Зимней Сусова и Бураковка с прививкой в крону Чижовской.

Результаты, полученные при использовании метода сканирующей электронной микроскопии, позволяют предположить, что устойчивость к парше на этапе проникновения возбудителя во многом зависит от микроструктурных особенностей (высота и строение кутикульной поверхности и мощность воскового покрова) поверхности эпидермы листьев

и плодов сортов семечковых культур, являющимися факторами пассивного иммунитета.

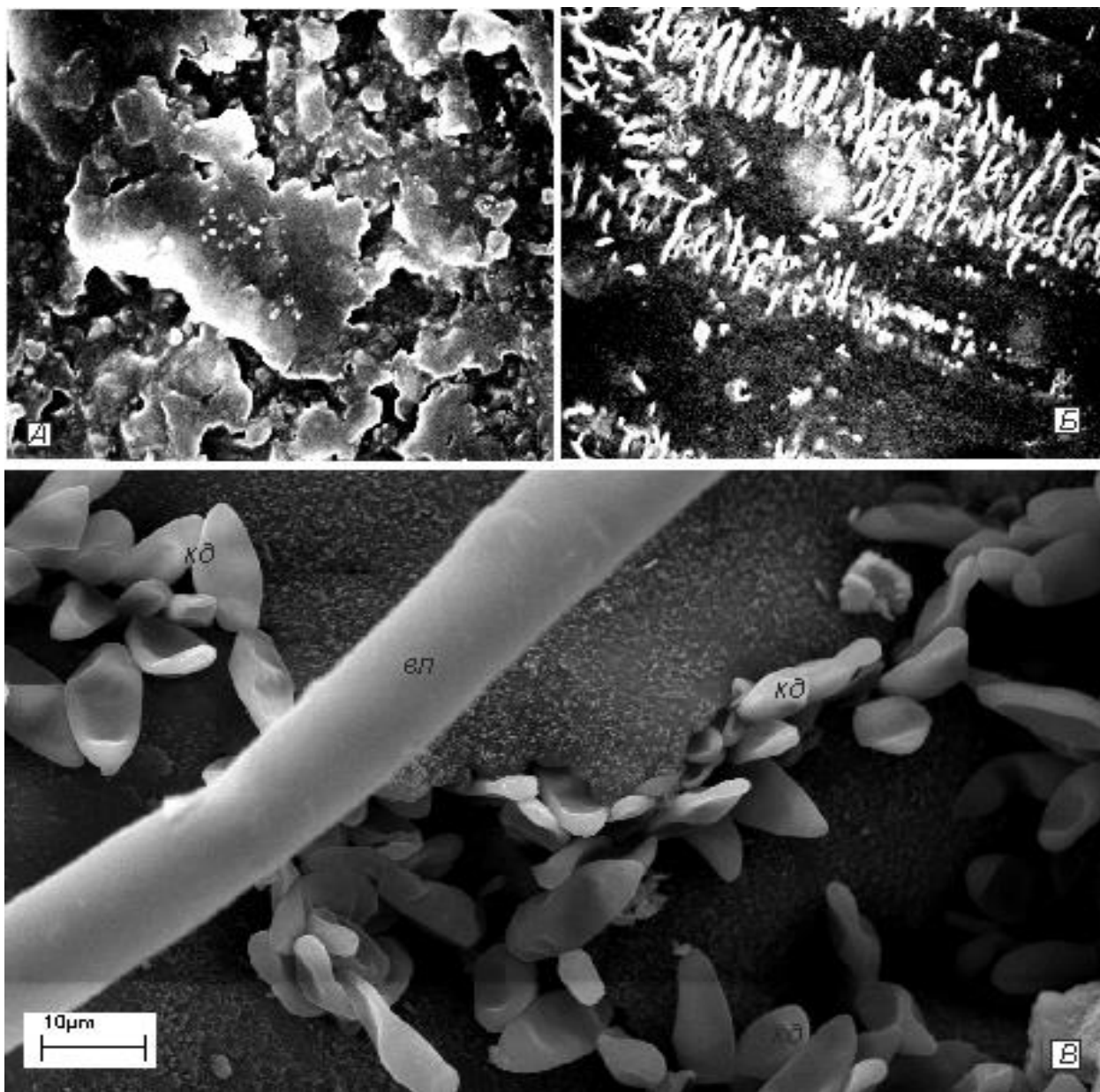


Рисунок 4.2.8 – Поверхность плода яблони (А) сорта Солнышко и (Б, В) сорта Мелба: (А – общий вид поверхности, восковые отложения в виде пластин; Б – общий вид поверхности, восковые отложения в виде стерженьков; В - участок поверхности с многочисленными конидиями. Обозначения: вл – волосок, кд – конидии)

Сорт и погодные условия оказали влияние на сроки массового созревания и вылета аскоспор возбудителей парши, которые в Московском регионе на сортах яблони варьировали от 27 марта до 14 мая, а на сортах груши – от 26 марта по 30 апреля и были приурочены в основном к фазе

распускания почек (зелёный конус). В зависимости от погодных условий на восприимчивых сортах груши симптомы на листья первоначально появлялись с конца 2 декады мая по 1 декаду июня, а на яблоне позднее – в 3 декаде июня; в эти сроки необходимо использовать фунгициды или иные препараты для подавления парши.

В динамике развития парши отмечено нарастание болезни, как на груше, так и на яблоне к концу вегетации (за 1 мес. до уборки урожая), по сравнению с ранними фазами развития растений-хозяев. С возрастом деревьев устойчивость к болезни снижалась. Распространенность и развитие парши груши в годы исследований были больше, чем парши яблони. Максимальное проявление поражения листьев сортов груши ржавчиной отмечено, начиная с 3 декады июля, усиливающееся к началу сентября.

Совершенствование феромонного мониторинга яблонной плодовой жоржки

Яблонная плодовая жоржка – *Cydia pomonella* (L., 1758) (Lepidoptera: Tortricidae) является одним из наиболее значимых карпофагов вредителей яблони во всех зонах её выращивания: при отсутствии защитных мероприятий она способна повреждать до 80 % плодов и более (рис. 4.2.9) (Митюшев и др., 2013а; Третьяков и др., 2012). Для сигнализации обработок инсектицидами и контроля численности этого вредителя широко используют феромонные ловушки. Этот способ мониторинга имеет значительные преимущества по сравнению другими методами учёта, поскольку позволяет контролировать динамику численности вредителя даже при относительно низкой плотности популяции (Митюшев и др., 2013; Третьяков и др., 2010; Третьяков и др., 2012). Эффективность мониторинга может зависеть от ряда факторов, таких как метеоусловия, состояние популяции вредителя, характеристики используемых ловушек и феромонных препаратов (Митюшев и др., 2012; Митюшев и др., 2013).

С 2003 г. нами на кафедре защиты растений (до сентября 2010 г. – кафедре энтомологии) Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева проводятся исследования, направленные на совершенствование феромонного мониторинга и прогноза яблонной плодожорки в условиях Нечернозёмной зоны России. В разные годы в опытах использовали ловушки дельтовидной формы (изготовленные из ламинированного картона и пластика) и феромонные диспенсеры (резиновые и фольгапленовые) производства Всероссийского НИИ биологической защиты растений, Всероссийского НИИ химических средств защиты растений, ЗАО «Щелково Агрохим» и ООО «Феромон».

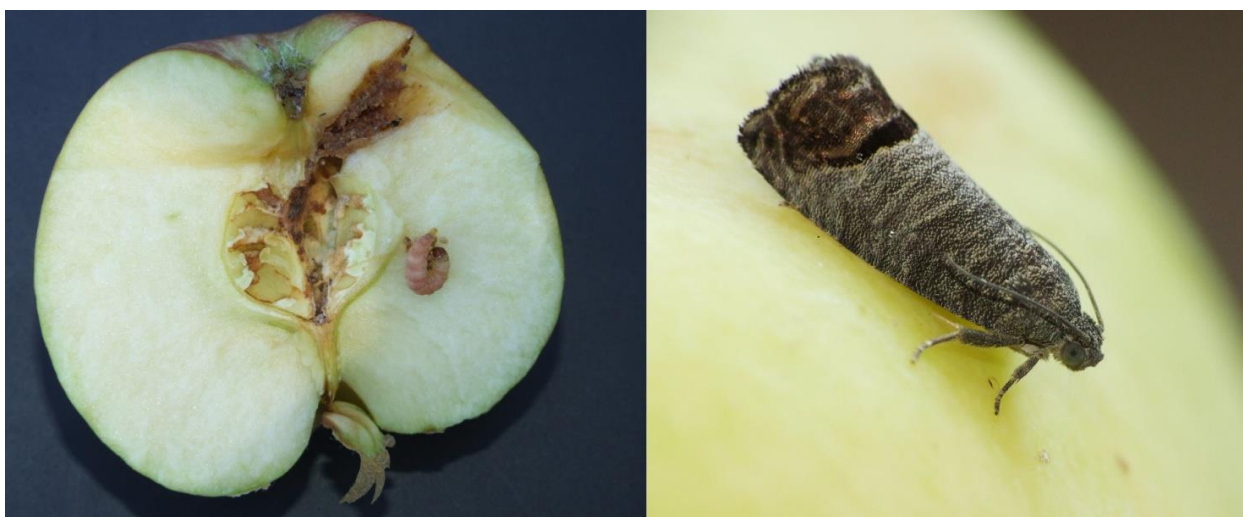


Рисунок 4.2.9 – Яблонная плодожорка (фото И.М. Митюшева) поврежденное яблоко с гусеницей внутри (слева); имаго (справа)

В первые годы использовали ловушки производства Всероссийского НИИ биологической защиты растений (г. Краснодар), в дальнейшем перешли к применению ловушек производства ЗАО «Щелково Агрохим» и Всероссийского НИИ химических средств защиты растений. Исследования проводили в Мичуринском саду Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, плодовых садах ЗАО «Совхоз имени Ленина», ГУ ОС «Центральная» ВСТИСП, учхозе Михайловское.

В результате проведенных исследований, совместно с коллегами из Всероссийского НИИ химических средств защиты растений были

разработаны методики проведения полевых испытаний новых препаративных форм синтетических феромонов и феромонных ловушек для чешуекрылых вредителей плодового сада. Впервые была испытана новая препаративная форма синтетического феромона яблонной плодовой жорки – фольгапленовый диспенсер, который помимо аттрактанта содержит и растворитель, позволяющий феромону испаряться более равномерно и сохранять эффективность на протяжении всего вегетационного сезона. Проводили поиски оптимальных составов фольгапленовых диспенсеров для яблонной плодовой жорки, содержащих, помимо основного, минорные компоненты, а также кайромоны. Совершенствовался феромониторинг и других вредителей плодовых культур (Митюшев, 2014; 2019; Сеницына и др., 2019). Оценивали разные типы ловушек, составы клея для клееного вкладыша.

Применение феромонных ловушек позволило уточнить биоэкологические особенности яблонной плодовой жорки в условиях Центрального региона России. Экономически ощутимые повреждения урожая в этом регионе могут наблюдаться при интенсивности лёта 3 особей и более на 1 ловушку за неделю или при отлове 10 самцов и более на 1 ловушку за вегетационный период. Было установлено, что суммы эффективных температур, накопленные к началу лёта яблонной плодовой жорки, в разные годы могут различаться более чем в 2 раза. Уточнена повреждаемость плодов ранних и поздних сортов яблони яблонной плодовой жоркой: наиболее сильно повреждаются сорта позднего срока созревания (Спартан, Лобо, Антоновка обыкновенная, Пепин шафранный и др.), слабее – сорта ранних и средних сроков созревания (Китайка долго, Мелба, Народное, Сентябрьское).

Совместно с д.б.н., профессором, заведующим кафедрой энтомологии Н.Н. Третьяковым и сотрудниками Всероссийского НИИ химических средств защиты были проведены испытания инсектицидно-феромонных пластин для защиты яблони и сливы от плодовой жорки методом «attract and kill» – «привлечь

и уничтожить». В садах, где применяли данный метод, происходило резкое снижение численности яблонной и сливовой плодовой жорки; поврежденность плодов находилась на уровне ниже порогов вредоносности.

Всего, с 2003 г. по данной тематике на кафедре защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева было подготовлено и защищено более 20 выпускных квалификационных работ специалистов, бакалавров и магистров, 3 кандидатские диссертации (М.А.М. Осман, И.М. Митюшев, А.О. Савушкин), 1 докторская диссертация (Н.Н. Третьяков). Впервые за более чем 30 лет были подготовлены учебные пособия по практическому использованию феромонов насекомых в защите растений для студентов магистратуры и бакалавриата (Митюшев, 2015; 2019).

Начиная с 2011 года, общее руководство исследовательской группой по исследованиям феромонов на кафедре защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева осуществляет к.б.н., доцент И.М. Митюшев. С 2016 года активное участие в исследованиях принимает инженер С.В. Дмитриева, которая ведёт работу над кандидатской диссертацией, а также студенты-дипломники, обучающиеся на кафедре по программам бакалавриата и магистратуры. В последние годы исследования проводятся совместно с научными сотрудниками АО «Щелково Агрохим», ведущим российским производителем средств защиты растений.

В 2004-2009 гг. мы проводили первичные испытания фольгапленовых диспенсеров производства Всероссийского НИИ химических средств защиты растений, которые содержат феромон и растворитель, в сравнении со стандартными резиновыми диспенсерами. Исследования, проведенные в 2004-2009 гг., позволили нам выявить наиболее удачные модификации фольгапленовых диспенсеров, которые сохраняют аттрактивность для самцов яблонной плодовой жорки в течение 3 месяцев (Митюшев и др., 2008). В последующие годы мы проводили исследования, целью которых было оценить влияние количества кодлемона, основного компонента феромона яблонной плодовой жорки, минорных компонентов и кайромонов в диспенсерах,

на эффективность мониторинга (Митюшев и др., 2012; 2013). В 2010 г. были испытаны 14 препаратов, различающихся содержанием кодлемона и минорных компонентов, а также диспенсеры, содержащие этил транс-2, цис-4-декадиеноат, соединение, которое указывается рядом авторов в качестве кайромона яблонной плодовой жорки. Фольгапленовые диспенсеры, имевшие в своем составе только кайромон (1, 5 и 15 мкл на диспенсер), уступали по attractiveness диспенсерам с феромоном. В некоторых вариантах мы размещали 2 диспенсера на ловушку – с феромоном и кайромоном. Эти ловушки имели более высокую attractiveness для самцов плодовой жорки, чем ловушки только с кайромоном, однако лишь вариант с феромоном и диспенсером, содержащим 1 мкл кайромона находился на уровне контроля. Добавление в состав феромонных препаратов минорных компонентов не оказало существенного влияния на их attractiveness для самцов плодовой жорки: она находилась на уровне контрольного варианта. В 2011 г. мы продолжили испытания препаратов, содержащих кайромон. Наибольшую attractiveness имел препарат, содержащий 1 мкл кайромона, однако испытанные кайромонные препараты уступали по эффективности феромонным, что наблюдалось и другими авторами. Анализ бабочек, отловленных в ловушки с диспенсерами, содержащими кайромон, показал, что практически все отловленные насекомые являлись самцами, нами были отмечены лишь единичные самки яблонной плодовой жорки. При этом в ловушках с кайромоном довольно часто фиксировались бабочки плодовой (изменчивой) листовёртки (*Hedya dimidioalba* Retzius). Сравнение испытанных в 2010-2011 гг. феромонных препаратов показало, что препараты с самым низким содержанием кодлемона (0,1 мг на диспенсер в 2010 г. и 0,2 мг в 2011 г.) имели наибольшую attractiveness среди всех испытанных, что согласуется с данными ряда зарубежных исследователей. Эти диспенсеры сохраняли свою attractiveness на протяжении всего периода испытаний, что указывает на перспективность их использования для феромонного мониторинга яблонной плодовой жорки. В 2012 г. нами были

протестированы диспенсеры, содержащие кодлемон разных производителей. Наибольшую аттрактивность имели диспенсеры в варианте 3. Введение в состав фольгапленового диспенсера этил транс-2, цис-4-декадиеноата в качестве кайромона не оказало влияния на его аттрактивность.

В 2012 г. нами также оценивались ловушки для яблонной плодовой мушки разной конструкции. Было отмечено, что материал ловушки (картон или пластик) при прочих равных условиях не влияет на эффективность мониторинга: в среднем в 1 пластиковую ловушку было отловлено $29,8 \pm 4,07$ самцов яблонной плодовой мушки за сезон, и $31,4 \pm 10,31$ – в картонную. В то же время, ловушка типа «Крыло» оказалась немного более эффективной: $41,0 \pm 7,89$ самцов на 1 ловушку за сезон.

В 2018-2020 гг. мы впервые провели полевые испытания новых феромонных препаратов яблонной плодовой мушки на основе диспенсера типа «Трубка». Исследования проводили в Мичуринском саду Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Для наблюдений за динамикой лёта яблонной плодовой мушки использовали клеевые ловушки и феромонные препараты производства АО «Щелково Агрохим». Использовали диспенсеры трёх типов – резиновые, фольгапленовые и пластиковые (тип «Трубка»). В 2018 г. были испытаны 2 варианта фольгапленовых диспенсеров, 2 варианта резиновых диспенсеров и 1 вариант диспенсера типа «Трубка» (табл. 4.2.8). Среди испытанных препаратов, наибольшую эффективность показал фольгапленовый диспенсер с увеличенной дозой кодлемона (вариант ЯП-3-2018). При этом введение минорных компонентов не оказало влияния на аттрактивность ловушки, напротив, аналогичный диспенсер с минорными компонентами практически не привлекал самцов (табл. 4.2.8).

В 2019 г. были испытаны 5 вариантов фольгапленовых диспенсеров и 2 варианта типа «Трубка», различающихся типом и содержанием аттрактанта, толщиной мембраны и растворителями. Среди испытанных препаратов, 1 вариант фольгапленового диспенсера и 1 вариант типа «Трубка» в качестве

аттрактанта содержали кайромон, и предполагались для отлова имаго обоих полов. Наибольшую аттрактивность продемонстрировал диспенсер ЯП-1-2019 с увеличенной дозой кодлемона, в среднем на 1 ловушку с этим диспенсером за сезон было отловлено 11,6 самцов яблонной плодовой. Наиболее привлекательным для самок плодовой оказался препарат ЯП-7--2019, при этом самок и самцов он привлекал в равной степени (1,6 и 1,4 особей на 1 ловушку за сезон, соответственно). В целом, лёт яблонной плодовой в 2019 году характеризовался низкой интенсивностью: на 1 ловушку за неделю отлавливалось не более 1,2 самца.

Таблица 4.2.8

Состав и аттрактивность различных феромонных препаратов яблонной плодовой (2018 г.)

Вариант	Тип диспенсера	Толщина мембраны, мкм	Содержание кодлемона, мг	Наличие минорных компонентов	Растворитель	Средний улов на 1 ловушку за сезон, экз. (x±Sd)
ЯП-1-2018	Резиновый	–	1	-	гексан	6,2±2,17
ЯП-2-2018	Резиновый	–	1	+	гексан	6,4±4,62
ЯП-3-2018	Фольгапленовый	200	2	-	изопропанол	34,4±45,20
ЯП-4-2018	Фольгапленовый	200	2	+	изопропанол	1,4±2,61
ЯП-5-2018	Трубка	–	2	-	гексан	9,6±4,16

В 2020 г. испытаны 3 варианта диспенсеров типа «Трубка» и 2 варианта фольгапленовых диспенсеров, различающихся содержанием аттрактанта и толщиной мембраны (табл. 4.2.9). Фольгапленовый диспенсер ЯП-5-2020 содержал синтетический феромон японского производства, все остальные – синтетический феромон отечественного производства.

Наибольшую аттрактивность продемонстрировал диспенсер ЯП-3-2020 (тип «Трубка», с увеличенной, в сравнении со стандартным диспенсером, до

5 мг, дозой кодлемона): в среднем на 1 ловушку с этим диспенсером за сезон было отловлено 21,2 самца яблонной плодовой жорки (табл. 4.2.9). Вместе с тем, статистически, отловы в ловушки с этим типом диспенсера не отличались от таковых в ловушку со стандартным фольгапленовым диспенсером. Наши исследования будут продолжены в 2021 г.

Таблица 4.2.9

Состав и аттрактивность различных феромонных препаратов яблонной плодовой жорки (2020 г.)

Вариант	Тип диспенсера	Толщина мембраны, мкм	Содержание кодлемона, мг	Содержание изопропанола, мкл	Средний улов на 1 ловушку за сезон, экз. (x±Sd)
ЯП-1-2020	Трубка	–	0,5	20	10,2±4,92
ЯП-2-2020	Трубка	–	1,5	20	7,4±4,8
ЯП-3-2020	Трубка	–	5	20	21,2±10,5
ЯП-4-2020	Фольгапленовый (st)	200	2	400	17,8±7,22
ЯП-5-2020	Фольгапленовый	200	2	400	14,0±9,21

Яблонная плодовая жорка является экологически пластичным видом, в разных условиях развивается от 1 до 4 поколений вредителя за вегетационный период (Корчагин и др., 2005; Махоткин, Павлюшин, 2002; Митюшев, 2007). Первостепенным фактором, влияющим на количество развивающихся за сезон поколений и вредоносность яблонной плодовой жорки, является температура воздуха. На территории всей европейской части Российской Федерации, кроме самой северной части ареала яблони, одно поколение вредителя благоприятно завершает свое развитие. Возможность развития второго поколения определяется тепловыми ресурсами, выражающимися суммой эффективных температур (СЭТ) более 10 °С.

Появление второго поколения возможно лишь при накоплении СЭТ к 1 августа не менее 500 °С. Степень развития второго поколения (в процентах от гусениц первого поколения) составляет более 95% при достижении СЭТ 500 °С ко второй пятидневке июня. Такая же величина СЭТ к концу июля обуславливает степень развития второго поколения лишь на 1-2%. В условиях Московской области развивается одно полное поколение плодовой яблонной плодожорки, однако в отдельные годы существуют условия для развития неполного второго поколения. Эффективная защита яблони от вредителей возможна только при своевременном мониторинге. Наиболее эффективным методом мониторинга яблонной плодовой яблонной плодожорки является применение феромонных ловушек. Их использование при определении численности этого вредителя повышает производительность труда в 3 раза по сравнению с другими методами и является наиболее надежным методом для определения начала лёта, численности вредителя и сигнализации обработок. Определение динамики сезонного лёта важно для сигнализации обработок против яблонной плодовой яблонной плодожорки.

Вместе с тем, феромонную ловушку следует рассматривать как неустойчивую систему, так как на её аттрактивность, а, следовательно, и эффективность феромонного мониторинга, влияет целый ряд факторов, таких как климатические условия, состояние популяции вредителя, характеристики используемых ловушек и феромонных препаратов и т.д.

Наблюдения за динамикой сезонного лёта яблонной плодовой яблонной плодожорки проводили в 2003-2018 гг. в садах Московского региона. Использовали также данные более ранних наблюдений, предоставленные сотрудниками станции защиты растений Всероссийского выставочного центра. При проведении феромонного мониторинга использовали клеевые ловушки дельтообразной формы типа «Атракон А», изготовленные из прозрачного пластика и ламинированного картона, площадь клеевого вкладыша – 184 см², производство – Всероссийский НИИ химических средств защиты растений и АО «Щелково Агрохим». Под сводом ловушки помещали фольгапленовые

диспенсеры (которые не заменяли в течение всего сезона) и резиновые – посередине клеевого вкладыша (их заменяли в середине сезона). Ловушки размещали в саду в конце цветения яблони, с юго-западной стороны дерева на высоте 1,7 м. Ловушки просматривали раз в неделю, на ряде участков – ежедневно, при необходимости они обслуживались: клеевые вкладыши заменяли по мере загрязнения, как правило, каждые 3-4 недели, при необходимости – чаще. Анализ климатических факторов в годы исследований проводили на основе данных метеонаблюдений, предоставленных сотрудниками Метеорологической обсерватории имени В. А. Михельсона.

Анализ полученных данных показывает, что лёт бабочек яблонной плодовой в садах Центрального региона Нечерноземной зоны России (ЦР НЧЗ) отличается нестабильностью; в некоторые годы наблюдается до 5-6 пиков лёта, что связано с резкими колебаниями температуры воздуха и влиянием других климатических факторов. Существенно отличаются в разные годы и сроки начала вылета бабочек. Целый ряд авторов указывает, что лёт бабочек весной начинается в среднем при СЭТ 130 °С. Однако в условиях ЦР НЧЗ даты начала лёта могут очень сильно отличаться от расчётных (табл. 4.2.10). Как правило, лёт бабочек начинался несколько раньше рассчитанных традиционными методами сроков. Так, наиболее раннее начало лёта самцов отмечалось при СЭТ 53,4 °С на территории ВДНХ в 1990 г. и при СЭТ 87,9 °С в Мичуринском саду РГАУ-МСХА в 2004 г. (Корчагин и др., 2005). Более ранние сроки могут быть вызваны вылетом бабочек, окукливавшихся в наиболее прогреваемых местах или хозяйственных постройках. Начало лёта плодовой ранее указанных в литературе сроков может быть связано с более высокими температурами воздуха в приземном слое воздуха в саду, которые не учитываются при наблюдениях на метеостанции. Гусеницы, зимующие с северной стороны ствола яблони, наоборот, начинают окукливаться значительно позже при больших значениях СЭТ. Есть также данные, что структура популяции

яблонной плодовой мушки генетически неоднородна: отмечают, что у нее существует две популяционные группы, первая из которых активизируется весной при повышении температуры, а вторая может находиться в диапаузе до конца июня. Этим также обуславливается растянутость лёта яблонной плодовой мушки.

Таблица 4.2.10

Сроки начала лёта бабочек яблонной плодовой мушки в разные годы

Год	Участок	Дата начала лёта яблонной плодовой мушки	Сумма эффективных температур на начало лёта, °С	Дата начала массового лёта яблонной плодовой мушки	Сумма эффективных температур на начало массового лёта, °С
1986	ВДНХ (аллеи)	24 мая	105,5	----	----
1986	ВДНХ (сад)	2 июня	191,3	----	----
1988	ВДНХ	31 мая	144,3	----	----
1989	ВДНХ	17 мая	95,2	----	----
1990	ВДНХ	16 мая	53,4	18 июня	143,8
1990	МСХА	11 июня	109,0	19 июня	150,7
2003	МСХА	28 мая	180,2	4 июля	321,4
2004	МСХА	1 июня	87,9	28 июня	233,8
2004	МСХА (ЛЗР)	8 июня	122,7	28 июня	233,8
2005	МСХА	25 мая	130,4	2 июля	380,0
2005	МСХА (ЛЗР)	28 мая	157,0	2 июля	380,0

Полученные нами данные также свидетельствуют о том, что и СЭТ, накопленные к началу массового лёта плодовой мушки, значительно отличаются в разные годы. Например, в 2005 г. на территории РГАУ-МСХА наиболее активный лёт самцов плодовой мушки в феромонные ловушки наблюдался 2 июля при СЭТ 380 °С, а в 1990 г. массовый лёт начался здесь уже 19 июня, когда рассчитанные СЭТ составляли лишь 150,7 °С. Сходные данные были

получены и в садах Московской области. В связи с этим рассчитывать оптимальные сроки осуществления обработок в ЦР НЧЗ против этого вредителя только по СЭТ (обычно их рекомендуется начинать при СЭТ 230°C), по нашему мнению, более чем рискованно. Феромонный мониторинг должен являться здесь необходимым элементом интегрированной защиты плодовых культур.

Известно, что на лёт бабочек плодовой плодожорки помимо температуры влияют и другие факторы. Например, бабочки практически не летают при сильном ветре и в сильный дождь. В условиях Центрального региона осадки выпадают гораздо чаще, чем в Центрально-Чернозёмном или Поволжском регионах, поэтому и влияние этих факторов на активность бабочек плодовой плодожорки, несомненно, выше. В годы наших исследований максимальные пики лёта наблюдались в дни, когда осадки не выпадали. В то же время незначительный лёт наблюдался и в дни с осадками, однако только когда их количество не превышало 8 мм за сутки.

Данные о среднесуточных температурах за 2003-2005 гг., отмеченных в дни максимального лёта яблонной плодовой плодожорки обобщены в табл. 4.2.11: максимальная интенсивность лёта, как правило, наблюдалась при среднесуточной температуре не ниже 18 °С, однако более слабые пики лёта отмечались и при 16,7 °С, когда в день, предшествующий учету, среднесуточная температура воздуха была 18,1 °С (29.06.2004 г.).

В результате изменения климата значительно увеличивается количество вегетационных сезонов с экстремальными погодными условиями: от чрезмерно жарких и засушливых до холодных и дождливых. За последнее десятилетие в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ особенно экстремальные погодные условия наблюдались в течение вегетационных периодов 2010 и 2017 гг.

Мы проанализировали основные климатические условия этих сезонов и динамику сезонного лёта яблонной плодовой плодожорки в течение данных периодов в сравнении с многолетними данными. По данным Метеорологической

обсерватории имени В. А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, средняя многолетняя СЭТ (более 10 °С) в условиях Московского региона составляет 762 °С, что достаточно для развития одного полного поколения яблонной плодовой гнили. Гидротермический коэффициент (ГТК) за этот же период, по средним многолетним данным, составляет 1,5, что характеризует увлажнение, как оптимальное.

Таблица 4.2.11

Влияние среднесуточной температуры воздуха на активность лёта яблонной плодовой гнили (Мичуринский сад РГАУ-МСХА, 2003-2005 гг.).

Дата учета	Улов на 1 ловушку за сутки, экз.	Среднесуточная температура воздуха в день учета, °С	Среднесуточная температура воздуха в день, предшествующий учету, °С	Сумма эффективных температур, накопленная ко дню учета (>10 °С)
2003 г.				
4 июля	2,0	21,7	20,5	321,4
31 июля	3,5	18,6	18,7	619,0
2004 г.				
28 июня	8,5	18,1	20,1	233,8
29 июня	2,3	16,7	18,1	240,5
30 июня	4,0	17,2	16,7	247,7
8 июля	4,7	18,4	17,5	305,0
9 июля	6,0	18,8	18,4	313,8
10 июля	4,0	20,2	18,8	324,0
11 июля	3,0	20,9	20,2	334,9
12 июля	4,3	20,8	20,9	345,7
2005 г.				
2 июля	2,25	21,4	19,2	380,0

По результатам наших исследований, проводимых с 2003 г., за вегетационный период в этом регионе обычно отмечается 2-4 (иногда 5-6) пика лёта яблонной плодовой гнили, при этом пики лёта в августе характеризуются, как правило, более низкой интенсивностью. В отдельные годы возможно развитие второго частичного поколения. В 2010 г. СЭТ (более 10 °С) к 31 августа составила 1384,5 °С, а ГТК – 0,66 (недостаточное увлажнение). В этом году за вегетационный период было отмечено 2 явных пика лёта, при этом второй пик в августе характеризовался более высокой интенсивностью: второе поколение вредителя по численности превосходило

первое (4-7 и 10-12 самцов на 1 ловушку за неделю соответственно). Вегетационный период 2017 г., напротив, характеризовался значительным дефицитом тепла и избыточным увлажнением: СЭТ (более 10 °С) к 31 августа составила 680,6 °С, ГТК – 1,95. За вегетационный период было отмечено несколько пиков лёта, но интенсивность лёта была крайне низкая (0,5-2,5 бабочек на 1 ловушку за неделю).

Анализ полученных данных о ежедневных уловах самцов плодовой моли в феромонные ловушки, позволил вывести уравнение, описывающее характер зависимости динамики лёта самцов плодовой моли от накопления сумм эффективных температур. Уравнение регрессии имеет вид: $y=0,247x-25,794$, $r=0,81$, где y – доля вылетевших самцов, % от общего количества (нарастающий итог); x – сумма эффективных температур, СЭТ (>10 °С). Анализируя данные о динамике лёта плодовой моли, мы обнаружили также, что наиболее интенсивный лёт происходит в основном в диапазоне СЭТ 150-450 °С, при этом максимальные уловы за сутки достигали в период массового лёта 20-23 % от общего числа самцов за сезон. Очевидно, что и максимальное число отложенных самками плодовой моли яиц также приходится на этот период. Следовательно, обработку против яблонной плодовой моли следует проводить, ориентируясь на указанный выше интервал СЭТ, и, уточняя сроки обработки по отловам самцов яблонной плодовой моли в феромонные ловушки. Рекомендации проводить истребительные мероприятия лишь при интенсивности лёта самцов в феромонные ловушки более 5 особей на 1 ловушку за неделю, верные для садов южных зон плодового хозяйства, в садах ЦР НЧЗ РФ, по нашему мнению, должны быть скорректированы. Так, в 2003 г. в Мичуринском саду РГАУ–МСХА, несмотря на то, что интенсивность отлова самцов в феромонные ловушки в период пика лёта не превышала 4,5 особей на 1 ловушку за неделю, поврежденность плодов съёмного урожая на сорте Антоновка составила 6,6 %. Экономически ощутимые потери урожая при незначительной интенсивности лёта в этот год были зафиксированы в Мичуринском саду

РГАУ–МСХА и на многих других сортах (Бефорест, Скрыжапель, Спартан и др.). В 2004 г. поврежденность съёмного урожая яблок сорта Антоновка обыкновенная в саду ЗАО «Совхоз имени Ленина» была близка к 8 %, в то время как максимальная интенсивность лёта самцов в феромонные ловушки не превышала 2 особей на 1 ловушку за неделю ($9,5 \pm 1,3$ особей на 1 ловушку за сезон). Данные, полученные в садах, где проводился феромонный мониторинг, позволили выявить зависимость между интенсивностью лёта самцов плодовой яблонной плодожорки и поврежденностью плодов яблони. Полученное уравнение регрессии имеет вид: $y=2,051x-0,987$, $r=0,72$, где y – прогнозируемое количество поврежденных плодов, %; x – максимальный улов на 1 ловушку за неделю массового лёта, особей. Поскольку максимальный улов на 1 ловушку за неделю может в неполной мере характеризовать интенсивность лёта вредителя, нами был проведен дополнительный регрессионный анализ с целью выявления зависимости поврежденности плодов яблони от общих уловов самцов плодовой яблонной плодожорки феромонными ловушками. Полученное уравнение регрессии имеет вид: $y=0,713x-0,376$, $r=0,71$, где y – прогнозируемое количество поврежденных плодов, %; x – общий улов на 1 ловушку за сезон, особей. Два полученных уравнения регрессии имеют практически одинаковые коэффициенты корреляции и на наш взгляд могут использоваться, дополняя друг друга, для прогноза вредоносности яблонной плодовой яблонной плодожорки в садах ЦР НЧЗ РФ.

С целью уточнения повреждаемости плодов яблони различных сортов яблонной плодовой яблонной плодожоркой, мы проводили наблюдения на ряде сортов разных сроков созревания из коллекции Мичуринского сада РГАУ-МСХА. Наименее повреждались плодовой яблонной плодожоркой сорта ранних и средних сроков созревания (Мелба, Китайка долго, Народное, Сентябрьское). Наиболее повреждаемыми в годы исследований являлись сорта поздних сроков созревания, особенно сорта Антоновка обыкновенная, Лобо, Пепин шафранный, Спартан: в год с высокой численностью яблонной плодовой яблонной плодожорки на них отмечалось повреждение от 17 до 63 % плодов съёмного урожая. Сведения о различной

повреждаемости сортов яблони разных сроков созревания могут в некоторых случаях помочь дифференцировано подходить к осуществлению защитных мероприятий против яблонной плодовой жорки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность феромонного мониторинга зависит от ряда факторов, которые могут как усиливать, так и ослаблять уловистость феромонных ловушек. Правильный подбор феромонных ловушек и диспенсеров для феромонного мониторинга и прогноза позволит внедрить энергосберегающие технологии защиты яблони от яблонной плодовой жорки.

5. ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И МЕТОДИКА ОПЫТНОГО ДЕЛА

5.1. МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОБИОЦЕНОЗОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОКУЛЬТУРИВАНИИ

Полевой эксперимент является наиболее универсальным и репрезентативным методом тестирования новых идей и концепций научной агрономии на пути их практической оценки в условиях производства. Ценность результатов научных исследований, получаемых в полевом опыте, возрастает по мере его длительности, с приближением земельного участка к устойчивому экофитоценоотическому равновесию. В этой связи международную значимость имеют лишь длительные опыты.

Длительными считают полевые стационарные опыты, продолжительностью не менее 20 лет, а стационары продолжительностью более 50 лет называют классическими или сверхдлительными. В компьютерной директории ФАО зарегистрировано около 300 наиболее известных полевых стационаров (Christensen, Trentemoller, 1995). Среди них выделяются опыты Ротамстеда (Англия), заложенные в 1843-1856 гг. Часть из них была закрыта по истечению нескольких десятков лет, другие почти достигли или успели перешагнуть 100-летний юбилей. Наибольший интерес из оставшихся полевых опытов представляет 160-летняя "Бессменная пшеница" в Бродболке. Широко известны "Вечная культура ржи" в Галле с 1878 г. (Германия), опыт с удобрениями в Гриньоне с 1875 г. (Франция), Morrow plots с 1876 (Иллинойс, США), Ascow – опыты с 1894 г. (Дания), а также Длительный опыт РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева или «Московский стационар», согласно международному каталогу длительных опытов с 1912 г. (Кирюшин, 1999; 2000). Среди ныне действующих лишь 13 стационаров продолжают более 100 лет (табл. 5.1.1).

Наиболее известные длительные полевые стационары мира
(Christensen, Trentemoller, 1995)

Место проведения опыта	Страна	Год закладки
Ротамстед (Rothamsted)	Англия	1843
Гриньон (Grignon)	Франция	1875
Иллинойс (Illinois)	США	1876
Галле (Halle)	Германия	1878
Коламбия (Columbia)	США	1888
Дакота (Dakota)	США	1892
Асков (Ascov)	Дания	1894
Обурн (Auburn)	США	1896
Бад Лаухштадт (Bad Lauchstadt)	Германия	1902
Дикопсхоф (Dikopshof)	Германия	1904
Саскачеван (Saskatchewan)	Канада	1911
Москва (ТСХА)	Россия	1912

Условия и методика проведения исследований

Длительный опыт был заложен в 1912 году заведующим полевой опытной станции и кафедры земледелия Петровской (ныне РГАУ –МСХА имени К.А. Тимирязева) профессором А.Г. Дояренко по инициативе академика Д.Н. Прянишникова на земельном участке, который прежде входил в кормовой (прифермский) севооборот, где в 10 предшествующих лет не применяли минеральные удобрения и лишь в 1909 году внесли 35 т/га навоза. С 1906 по 1911 годы возделывали следующие культуры: *клевер 1 г.п.* - *клевер 2 г.п.* - *овес* - *пар черный* - *озимая рожь с подсевом клевера* - *клевер 1 г.п.* В 1912 году перед посевом яровых культур участок разделили на 2 части. На первой нарезали 6 вытянутых полей: 121, 122, 123, 124, 125 и 126 площадью по 1400 м². 121 поле оставили под черным паром, а на остальных 5 полях стали высевать бессменно, соответственно озимую рожь, картофель, овес, клевер и лен. На другой части развернули 6-польный севооборот со следующей схемой чередования: *пар черный* - *озимая рожь* - *картофель* - *овес с подсевом клевера* - *клевер 1 г.п.* - *лен*. Поля севооборота: 131, 132, 133,

134, 135. и 136, площадью 1200 м², явились естественным продолжением соответствующих полей монокультур. В 1-ый год каждой ротации (раз в 6 лет) на симметричных полях высевают одинаковые культуры.

Поперек 6-ти полей бессменных культур наложили 11 вариантов удобрений: 1- N; 2 - P; 3 - K; 4 - O (без удобрений); 5 - NP; 6 - NK; 7 - PK; 8 - NPK + навоз; 9-NPK; 10- навоз и 11-O (без удобрений). Аналогичные варианты, за исключением 10-ого и 11-ого, наложили поперек полей севооборота, который явился "зеркальным" отражением первых девяти вариантов монокультур. Учетная площадь делянок составила 100 м².

За 110-летний период функционирования опыта с учетом темпов развития химизации сельского хозяйства в схему было внесено ряд изменений (Егоров, 1972):

- в 1949 году введен третий вариант опыта (*известкование*), а также на известкованной половине бессменного черного пара, где отмечали сильную деградацию почвы, начал осваиваться *севооборот во времени* с тем же чередованием культур с целью оценки их роли в восстановлении плодородия, а овес, сильно повреждающийся птицами, заменен на ячмень;

- с учетом обеспечения сельского хозяйства минеральными удобрениями и мелиорантами увеличивались и дозы их внесения (табл. 5.1.2). Первая доза известки составила 4,57 т/га доломитизированного известняка (83% Ca, MgCO₃). Последующие дозы рассчитывались на основе гидролитической кислотности почвы и составили (год - доза): 1954 – 4,5; 1960 – 1; 1966 – 2; 1973 – 3; 1978 – 2; 1984 – 3; 1990 – 2; 1996 – 3; 2002 – 2,8; 2008 – 2,4 т/га, 2014 – 2,4 и 2020 – 2,4 т/га

- в 1973 году по инициативе проф. Б.А. Доспехова на половине четких полей севооборотного участка с разным уровнем плодородия, созданного за предшествующие годы функционирования опыта стали применять *сплошное внесение минеральных удобрений в дозе N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀* с целью их влияния на скорость восстановления и выравнивания плодородия почвы по делянкам с

дробным внесением разных доз и видов удобрений в предшествующие 60 лет (Доспехов и др., 1975).

Перед закладкой опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая почва характеризуется следующими агрохимическими показателями плодородия: содержание гумуса – 2,06%, подвижного фосфора P_2O_5 – 60, обменного калия K_2O – 50 мг / кг почвы, $pH_{\text{сол}}$ – 4,5, НГ – 5,8 мг-экв./100г почвы (Матюк и др., 2016).

Таблица 5.1.2.

Система удобрений по периодам функционирования длительного опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Матюк, Полин, 2012)

Варианты опыта	N	P_2O_5	K_2O	Навоз, т/га	Общее количество				
	кг/га д.в.				кг/га			т/га	
	N	P_2O_5	K_2O		навоз	известь			
1 период 1912-1938	7,5	15	22,5	18	195	390	585	486	0
2 период 1949-1954	75	60	90	20	1200	960	1450	320	9
3 период 1955-1972	50	75	60	10	900	1350	1080	180	3
4 период 1973-2022	100	150	120	20	4800	7200	5760	960	23
Всего за 1912-2022	-	-	-	-	7095	9900	8875	1946	35
В среднем за один год	-	-	-	-	64,5	90,0	80,7	17,7	3,2

Агротехника возделывания полевых культур в опыте соответствует традиционной технологии для ЦРНЗ, основанной на ежегодной вспашке на глубину 20-22 см. Фосфорно-калийные и органические удобрения вносили осенью, азотные весной под предпосевную культивацию.

Результаты исследований и обсуждение

Ценность результатов научного исследования пропорциональна длительности стационара, и возрастает по мере приближения опытного участка к устойчивому квазиравновесному состоянию. В длительном полевом опыте происходит компенсация части отклонений в действии и взаимодействии изучаемых и не изучаемых, но контролируемых факторов, что уравнивает базисный фон для всех вариантов опыта. В условиях длительного стационара аккумулируется во времени действие, взаимодействие и последствие агротехнических приемов на фоне изменения факторов окружающей среды, что позволяет решать проблемы земледелия и экологии, специфические для конкретной почвенно-климатической зоны. Длительные стационары позволяют проводить мониторинг гумуса, содержания и круговорота питательных веществ, в том числе и микроэлементов, а также динамику загрязненности почвы тяжелыми металлами, другими токсигенами и вредными для биосферы и человека веществами. Действие многих биологических и технологических факторов на плодородие почвы продуктивность растений становится очевидным лишь по истечении десятков лет (Кирюшин, 1999).

Систематическое применение органических и минеральных удобрений, а также периодическое известкование, остаются наиболее эффективным средством химической мелиорации дерново-подзолистой почвы и предпосылкой повышения производительности пашни. Эффективность мелиоративных приемов обусловлена различными факторами: исходными свойствами почвы, видами, дозами и сочетаниями удобрений, а также особенностями возделываемых культур. За 110 лет полевого стационара каждая из 240 делянок получила разный уровень антропогенных энергетических субсидий, что обусловило различия между вариантами в степени гумусированности и содержанию питательных веществ в пахотном слое почвы, которые между отдельными вариантами достигали многократных размеров.

Теоретической основой установления критического уровня содержания органического углерода с учетом гранулометрического состава почвы является динамика изменения его содержания и запасов в чистом пару без внесения удобрений в течение длительного (более 100 лет) периода (Матюк и др., 2016).

Наши исследования показали, что при длительном (110 лет) паровании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы изменения содержания и запасов органического углерода имеют устойчивый тренд к их снижению, причем скорость ежегодных потерь определяется дозами вносимых минеральных и органических удобрений. Наибольшие потери углерода отмечались в вариантах без удобрений, где его содержание в первые 10 лет после закладки опыта уменьшилось на 37,5% по сравнению с исходным состоянием (1,20%). В последующие десятилетия темпы минерализации органического вещества в чистом пару замедлялись, что связано с достижением почвой уровня квазиравновесного содержания углерода (0,48-0,52%), обеспеченного легкосуглинистым гранулометрическим составом данного типа почвы.

Внесение полного минерального удобрения (NPK) замедляло темпы распада углерода почвы и его содержание находилось на уровне 0,81-0,89%. Ежегодное, в среднем за 110 лет внесение 17,7 т/га навоза обеспечивало уравновешенный или положительный баланс углерода в чистом пару с сезонными колебаниями в пределах 1,21-1,27%.

Необходимо отметить, что в период глобального потепления климата независимо от возделываемой культуры и фона питания возросли потери углерода, что связано с развитием эрозионных процессов, как в поле чистого пара, так и смежных в горизонтальной плоскости делянках севооборота (рис. 5.1.1).

В естественных биоценозах многолетней залежи наблюдалась устойчивая тенденция сохранения положительного баланса углерода, увеличение содержания которого через 110 лет составило 0,11% или 3,3 т/га.

Потери органического вещества на фонах постоянного применения азотных, а также фосфорно-калийных удобрений, вызывающих подкисление почвенного раствора, а, следовательно, ускоряющего минерализацию органического вещества, за первые 6 ротаций с момента определения составили 36,8 и 34,7 т/га соответственно.

Наименьшие потери углерода отмечали в вариантах совместного внесения NPK и навоза, которые составили 26,6 т/га (рис. 5.1.2).

В последние 50 лет темпы разложения органического вещества в чистом пару резко замедлились, особенно в вариантах без удобрений, где его содержание достигло квазиравновесного состояния, обеспеченного сбалансированностью процессов накопления и минерализации. Повышение норм внесения навоза с 10 т/га (1939-1972 гг.) до 20 т/га (1973-2022 гг.) сократило потери органического вещества более чем в 2 раза.

Таким образом, изменение направленности и скорости трансформации органического вещества определяется видами внесения минеральных удобрений (N, P, K), их способностью изменять состояния среды обитания почвенных микроорганизмов и скоростью их реакции на эти изменения.

Возделываемые полевые культуры – важнейший фактор динамики изменения содержания гумуса, поскольку их пожнивно-корневые остатки являются одним из основных источников поступления в почву органического вещества. Растительные остатки, а также основная и побочная продукция урожая, частично используемые в животноводстве и возвращающиеся в почву в виде органических удобрений, сужают замкнутость цикла круговорота органических веществ и потока энергии в конкретном агробиоценозе.

Различные формы минеральных удобрений как внесенных отдельно (N, P, K), так и в различных сочетаниях определяют не только уровень урожайности возделываемых культур, но и массу растительных остатков, поступающих в почву после их уборки (табл. 5.1.3).

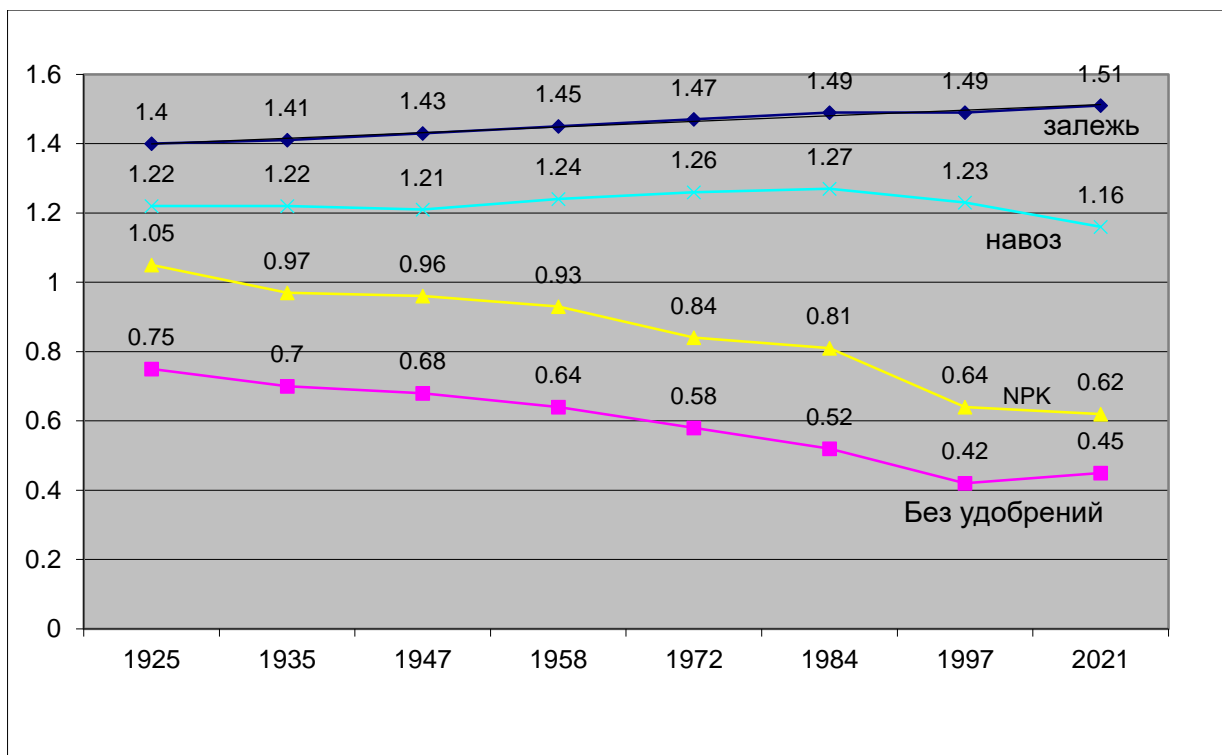


Рисунок 5.1.1 – Изменение содержания органического углерода (C_{org} , %) в бессменном пару на разных фонах удобрений и прилегающей многолетней залежи

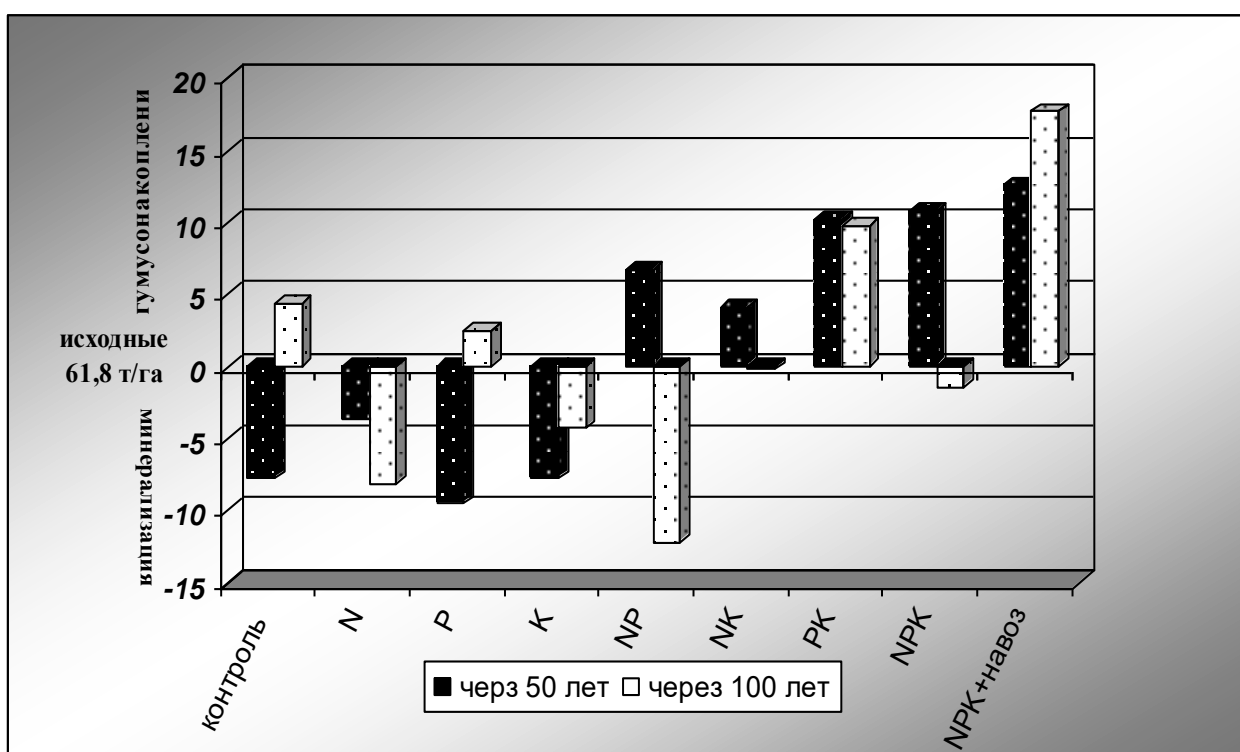


Рисунок 5.1.2 – Роль фона питания в изменении направленности биохимических процессов превращения органического вещества в севообороте, т/га

При бессменном возделывании озимой ржи решающим фактором в накопление растительных остатков являлась обеспеченность растений питательными элементами. Их масса колебалась от 2,64 в вариантах без удобрений до 3,38 т/га сухого вещества на делянках с совместным внесением $N_{100}P_{150}K_{120}$ и 20 т/га навоза.

Возделывание озимой ржи в севообороте уменьшало накопление растительных остатков на 0,2-0,6 т/га в зависимости от фона питания за счет ускорения минерализации их в чистом пару и под картофелем.

Таблица 5.1.3

Влияние фона питания и чередования культур на накопление растительных остатков (т/га сухого вещества), в среднем за ротацию

Вариант удобрений	Оз. рожь бессменно	В севообороте					В среднем за ротацию
		Оз. рожь	картофель	ячмень	клевер	лен	
Без удобрений	2,64	2,85	1,44	1,29	4,22	0,82	1,77
N	3,05	2,91	1,56	1,59	4,64	0,65	1,89
P	2,60	3,14	1,66	1,49	4,42	0,74	1,91
K	2,61	3,09	2,08	1,56	4,49	0,58	1,97
NP	3,16	3,58	1,72	1,56	4,25	0,78	1,98
NK	3,11	3,47	2,48	1,57	4,40	0,79	2,12
PK	2,91	3,58	2,64	1,92	4,59	0,80	2,26
NPK	3,35	3,33	2,94	2,37	4,59	1,20	2,24
NPK + навоз	3,38	3,70	2,96	2,37	4,52	1,12	2,96
В среднем по удобрениям	2,99±0,3	3,30±0,3	2,05±0,5	1,75±0,4	4,46±0,1	0,83±0,2	X

Из изучаемых в севообороте культур наименьшее количество растительных остатков оставлял после уборки лен (0,43-1,18 т/га), а наибольшее – клевер одного года использования (4,22-4,64 т/га).

Таким образом, применяемые в опыте удобрения в различном сочетании по влиянию на накопление растительных остатков можно

расположить в следующей убывающей последовательности: NPK+навоз > NPK > NP > NK, PK > N > P > K > без удобрений, а возделываемые культуры – клевер > озимая рожь > картофель > ячмень > лен.

Длительное (100 лет) бессменное возделывание полевых культур на фоне без удобрений позволяет вычленить положительную роль отдельных растений из разных биологических групп (зерновые, пропашные, кормовые) в изменении запасов гумуса в пахотном слое дерново-подзолистых почв по сравнению с многолетней залежью и чистым паром (рис. 5.1.3).

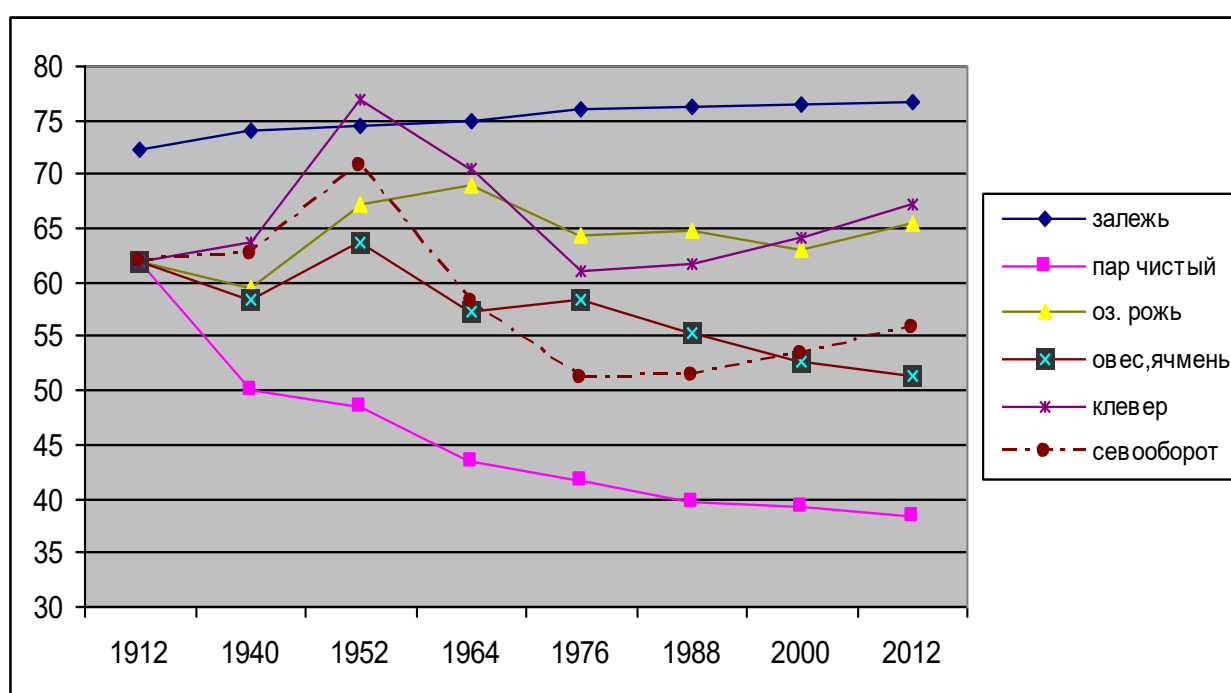


Рисунок 5.1.3 – Роль бессменных посевов полевых культур и севооборота в изменении запасов гумуса в пахотном слое почвы на фоне без удобрений, т/га

Нашими исследованиями установлено, что по сравнению с вечным паром под культурами, возделываемыми в опыте, значительно выше содержание и соответственно запасы гумуса, которые коррелировали с массой растительных остатков, оставляемых ими после уборки.

Анализ динамики изменения запасов гумуса показал, что из зерновых культур при длительном бессменном выращивании, озимая рожь обеспечивала увеличение запасов органического вещества в почве до 65,5

т/га, что выше на 3,5 т/га по сравнению с исходными (61,8 т/га), то есть ее возделывание обеспечивало расширенное воспроизводство плодородия.

Длительные бессменные посевы яровых зерновых культур (овес, ячмень), которые оставляют в почве значительно меньшее количество растительных остатков, обеспечивало поддержание запасов органического вещества на уровне 51 т/га, что ниже исходного на 10,8 т/га. Наибольшее влияние на увеличение запасов гумуса оказывало выращивание клевера, которое за первое 50-летие составило 8,5 т/га, а за второе 5,2 т/га.

В севообороте, где культуры сплошного сева чередуются с пропашными и полем чистого пара скорость превращения органических остатков, имеющих разный химический состав, замедляется и запасы органического вещества стабилизируются в последние две ротации на уровне 54-58 т/га. В результате исследований установлена сильная корреляционная связь ($R^2=0,989$) между количеством растительных остатков и содержанием гумуса.

Длительное воздействие на почвенный покров легкосуглинистых дерново-подзолистых почв технологическими приемами разной интенсивности вызывает изменение их морфологических признаков, запасов гумуса не только пахотного, но и нижележащих горизонтов по сравнению с их естественными аналогами (Доспехов и др., 1975).

Установлено, что вовлечение залежных земель в интенсивный сельскохозяйственный оборот при экстенсивном способе использования пашни (чистый пар, без удобрений) снижает запасы гумуса в пахотном на 23,0 т/га по сравнению с их запасами под многолетней залежью, где они составляли 58,6 т/га.

При бессменном выращивании картофеля на фоне длительного внесения полного минерального удобрения в сочетании с навозом ($N_{65}P_{90}K_{80}+H_{17}$) ежегодно отмечается по сравнению с естественными аналогами незначительное (3,0 т/га) снижение запасов гумуса почвы. Наибольший эффект в увеличении запасов органического вещества во в

пахотном слое почвенного профиля оказывает возделывание культур из разных биологических групп в севообороте, что обусловлено изменением направленности превращения органического вещества, поступающего после их уборки, в сторону гумусонакопления.

Анализ полученных данных показал, что при закладке опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая почва по запасам гумуса в пахотном слое почвы (36,0 т/га) относилась к слабогумусированным. Более чем за 100-летний период функционирования опыта под влиянием возделываемых полевых культур, различных форм и видов применяемых удобрений (однокомпонентные, двухкомпонентные, полное минеральное удобрения и его сочетание с навозом) изменилась и степень гумусированности почвы (рис. 5.1.4):

- деградированные (2,8%), поле чистого пара в вариантах без удобрений и при внесении однокомпонентных (N, P, K), где за счет минерализации гумуса его запасы уменьшились на 11,4-16,8 т/га;

- слабогумусированные (14,5%), поле чистого пара с внесением парного сочетания и полного минерального удобрения, а также поле бессменного картофеля на фоне без удобрений и при внесении одно- и двухкомпонентных удобрений;

- среднегумусированные (56,5%), поля севооборота во времени с 1972 г., во времени и пространстве с 1912 г. на всех фонах питания, ячменя и льна в вариантах без удобрений, а также при внесении одно- и двухкомпонентных удобрений с запасами гумуса, картофеля на фоне NPK и его сочетании с навозом;

- сильногумусированные (26,2%) с запасами гумуса более 60 т/га – поля бессменной озимой ржи и клевера на фонах двухкомпонентных, полного внесения и его сочетании с навозом, а также всех культур на унавоженном фоне.

Другими важными показателями степени окультуренности почвы является содержание подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) –

(Доспехов и др., 1975). Наши исследования показали, что содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы за 110 лет функционирования «Московского стационара» носило устойчивый характер его накопления не зависимо от способа использования земель (рис. 5.1.5).

БЕССМЕННО

Пар чистый Без извести	24,6	22,2	19,2	23,7	26,7	26,7	30,0	30,0	35,1	36,0	
севооборот во времени по извести	42,9	40,2	43,8	39,3	45,6	48,0	43,2	50,7	55,2	58,8	121
Без извести Рожь По извести	57,9	50,7	53,7	53,7	68,1	65,4	71,7	72,3	74,4	78,0	122
	66,5	55,2	46,5	58,2	67,2	67,5	73,5	73,2	78,6	79,8	
Без извести Картофель По извести	33,6	28,8	28,8	33,2	37,3	36,7	38,9	42,2	48,2	51,9	123
	35,6	30,2	40,0	31,0	38,6	38,1	41,2	44,8	52,6	54,9	
Без извести Ячмень По извести	46,8	49,5	45,9	48,3	46,8	57,9	53,1	58,8	63,9	66,6	124
	48,6	51,6	47,4	53,7	55,2	55,8	56,4	63,0	65,4	70,5	
Без извести Клевер По извести	55,2	52,2	51,6	55,2	50,1	60,0	69,0	69,0	75,9	82,5	125
	63,0	62,4	66,0	59,4	56,7	61,5	73,2	71,1	79,8	76,8	
Без извести Лен По извести	53,7	52,2	47,7	54,9	47,7	57,9	56,4	57,9	70,2	73,5	126
	57,0	57,0	49,2	53,4	52,4	60,6	52,2	66,6	78,0	79,8	
Удобрения*/ Культуры	N ₆₅	P ₉₀	K ₈₀	0	N ₆₅ P ₉₀	N ₆₅ K ₈₀	P ₉₀ K ₈₀	N ₆₅ P ₉₀ K ₈₀ +N ₁₇	N ₆₅ P ₉₀ K ₈₀	N ₁₇	№ поля
Без извести Севооборот По извести	52,2	48,6	42,3	43,5	47,1	50,1	43,5	56,4	53,7	В среднем по нечетным полям	
	50,1	40,2	45,3	44,4	51,6	64,0	47,7	58,5	52,2		
<p>■ – менее 25 - деградированные, - 25-40 ■ слабогумусированные, ■ - 41-60 - среднегумусированные, - 61-100 ■ сильногумусированные</p>											

Рисунок 5.1.4 – Влияние факторов интенсификации на запасы гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, т/га (в рисунках 5.1.4- 8 приведены среднегодовые дозы удобрений, кг/га д.в.)

Определение содержания подвижного фосфора по изучаемым вариантам опыта показало разный уровень его накопления в зависимости от

способа размещения культур (бессменно, севооборот), фона питания и биологических особенностей растений:

-на делянках без внесения фосфорных удобрений (N,K) при выращивании клевера и льна (10,8%) отмечается снижение его содержания по сравнению с исходным состоянием до низких значений (25-50 мг/кг почвы);

БЕССМЕННО

Исходное содержание подвижного фосфора, 60 мг/кг почвы	Пар Без извести	121	139	68	123	249	185	294	235	312	211	121
	севооборот во времени	137	143	40	71	153	78	260	197	297	234	
	Без извести Рожь	98	176	45	85	200	150	323	260	350	250	122
	По извести	81	195	71	78	188	100	290	286	341	230	
	Без извести Картофель	141	197	91	150	132	290	230	241	280	204	123
	По извести	115	208	106	110	147	280	275	261	320	207	
	Без извести Ячмень	80	226	46	58	230	92	275	270	322	230	124
	По извести	76	269	57	66	252	95	315	290	365	204	
	Без извести Клевер	41	178	28	36	170	61	274	288	278	192	125
	По извести	34	185	39	28	174	60	223	297	297	202	
	Без извести Лен	44	133	48	71	143	65	260	197	297	202	126
	По извести	63	168	45	70	179	60	240	231	303	211	
	Удобрения*, культуры	N ₆₅	P ₉₀	K ₈₀	0	N ₆₅ P ₉₀	N ₆₅ K ₈₀	P ₉₀ K ₈₀	N ₆₅ P ₉₀ K ₈₀ +H ₁₇	N ₆₅ P ₉₀ K ₈₀	H ₁₇	
Без извести Севооборот	98	135	49	53	123	60	235	200	277	В среднем по 3 полям		
По извести	65	158	54	48	144	48	215	210	254			
<p>- 50, низкое; - 51-100, среднее; - 101-150, повышенное; - 151- 250, высокое</p> <p>- более 250, очень высокое.</p>												

Рисунок 5.1.5 – Влияние факторов интенсификации на содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы, мг/кг почвы

-среднее содержание (51-100 мг/кг почвы) отмечено на 20,3% изучаемых вариантов – при возделывании озимой ржи, ячменя, льна и в севообороте на фоне без удобрений, а также при внесении азотных и калийных удобрений;

- повышенное содержание (101-150 мг/кг почвы) на 13,8% вариантов – при выращивании картофеля на фонах внесения азотных, фосфорных и фосфорно-азотных удобрений и в севообороте на этом же фоне;

- высокое содержание (151-250 мг/кг почвы) отмечено на 29,7% делянок опыта при бессменном выращивании всех культур на фоне внесения 17 т навоза ежегодно, а также на фоне применения фосфорных удобрений, их сочетаний с азотом, калием, а также полного минерального удобрения;

- очень высокое (более 250 мг/кг почвы) отмечено на 26,8% вариантах опыта при внесении полного минерального удобрения и его сочетании с навозом.

Содержание обменного калия, как более подвижного, и легко трансформируемого в различные формы элемента питания в основном зависело от потребности полевых культур в нем: (рис. 5.1.6)

- очень низкое (менее 50 мг/кг почвы) содержание водорастворимого и обменно-поглощенного калия отмечали на 13,8% вариантов: при бессменном выращивании озимой ржи, клевера и льна на фоне внесения азота и без удобрений из-за высокой потребности этих культур в данном элементе питания;

- низкое (51-100 мг/кг почвы) отмечали в 31,2% опыта при бессменном выращивании ячменя, картофеля, льна и клевера в вариантах без удобрений, а также при внесении азота, фосфора и их парного сочетания;

- среднее (101-150 мг/кг почвы) содержание обменного калия в 27,5% случаев при бессменном выращивании картофеля, льна и в севообороте на фоне применения калия, его парного сочетания с азотом и фосфором, полного минерального удобрения, навоза и их сочетания;

-повышенное (151-200) – 13,0%, высокое (201-300) – 12,3% и очень высокое (более 300 мг/кг почвы) – 2,2% отмечали в чистом пару на делянках с внесением НК, РК, NPK и его сочетании с навозом

БЕССМЕННО

Исходное содержание обменного калия, мг/кг почвы, 50 мг/кг почвы	Пар Без извести	96	120	124	90	120	220	270	225	290	200	121
	севооборот во времени	47	50	110	45	50	108	125	119	166	122	
	Без извести Рожь По извести	47	137	192	62	102	253	321	192	258	202	122
		49	91	198	61	66	190	280	184	178	144	
	Без извести Картофель По извести	60	79	118	58	76	158	142	124	142	106	123
		63	67	128	62	60	137	187	158	191	110	
	Без извести Ячмень По извести	61	99	206	70	96	241	301	203	305	216	124
		60	81	210	50	87	251	290	196	293	194	
	Без извести Клевер По извести	44	51	131	48	46	115	100	105	185	101	125
		48	54	96	42	45	92	97	82	157	87	
	Без извести Лен По извести	40	54	100	30	57	109	141	97	167	97	126
		35	41	87	34	52	108	120	110	142	86	
	культуры	N	P	K	0	NP	NK	PK	NPK навоз	NPK	H ₁₇	
	Без извести Севооборот По извести	66	68	131	46	85	140	125	161	146	В среднем по 3 полям	
	60	63	101	52	79	101	96	112	135			

- ■ -50, очень низкое; ; - 51-100 ■, низкое; - 101-150 ■ среднее;
 - ■ - 200, повышенное: - 201-300 ■, высокое; - более 300, очень высокое

Рисунок 5.1.6 – Влияние факторов интенсификации на содержание обменного калия в пахотном слое при возделывании культур бессменно и в севообороте, мг/кг почвы

Из изучаемых в опыте агробиоценозов наиболее высокое (250-300 мг/кг почвы) содержание обменного калия обеспечивало бессменное выращивание озимых и яровых зерновых культур, а наименьшее – отмечали

в плодосменном севообороте (135 мг/кг), а также под картофелем (142 мг/кг) и льном (167 мг/кг) почвы.

Комплексным показателем оценки плодородия почв, интенсивно используемым в сельскохозяйственном производстве, служит агрохимический балл плодородия (Доспехов и др., 1975), учитывающий изменения содержания органического вещества, элементов питания и ионно-обменных свойств почвы под действием различных факторов интенсификации.

За 110-летний период при бессменном выращивании, из изучаемых в опыте культур наиболее положительное влияние на плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы оказывали озимая рожь и клевер, далее яровые зерновые, а лён и картофель обуславливают его снижение (рис. 5.1.7).

Обобщение и анализ полученных данных показал, что перед закладкой опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая почва характеризовалась слабой степенью окультуренности (20-30 баллов).

Через 110 лет после закладки опыта под действием возделываемых культур, минеральных, органических удобрений и извести изучаемые варианты распределились по степени окультуренности следующим образом: слабоокультуренные – 16%, среднеокультуренные – 50%, хорошоокультуренные – 25% и сильноокультуренные – 11%.

Оценивая влияние отдельных элементов питания и их сочетаний на агрохимический балл плодородия необходимо отметить, что при внесении только азотных удобрений плодородие почвы снижается по сравнению с исходным, особенно при бессменном выращивании картофеля и яровых зерновых. Действие фосфорных, калийных и азотно-калийных удобрений было близким к варианту без удобрений. Действие фосфорных, калийных и азотно-калийных удобрений было близким к варианту без удобрений. Внесение полного минерального удобрения и его сочетания с навозом обеспечивало формирование хорошо- (60,7) и сильно- (21,5%)

окультуренных почв, а интенсивно обрабатываемые варианты опыта (чистый пар и картофель) сохранили плодородия на исходном уровне (17,8%).

БЕССМЕННО

	Пар Без извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	121
	севооборот во времени	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Без извести Рожь	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	122
	По извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Без извести Картофель	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	123
	По извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Без извести Ячмень	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	124
По извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Без извести Клевер	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	125	
По извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Без извести Лен	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	126	
По извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Исходное Плодородие в 1912 г.	культуры	N	P	K	0	NP	NK	PK	NPK навоз	NPK	навоз	№ поля
	Без извести Севооборот	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	По извести	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
-сл. ■ боокультуренные, 20-30; - среднео. ■ льтуренные, 31-50; - х. ■ рошоокультуренные, 51-70: - сил. ■ ноокультуренные, более 70												

Рисунок 5.1.7 – Картограмма окультуренности пахотного слоя почвы при длительном (110 лет) воздействии природных и антропогенных факторов, 1912 – 2022 гг

Оценка продуктивности возделываемых культур в энергетических эквивалентах основной и побочной продукции дозами по делянкам опыта с различным уровнем плодородия показала, что эффективность его использования определялась способом размещения культур (бессменно, севооборот), видами (минеральные, органические), формами (азотные, калийные, фосфорные) удобрений и их дозами (рис. 5.1.8).

Исследования показали, что потенциал отдельных культур в большей степени реализовывался в севооборотах, где выход энергии составлял 45-47

тыс. МДж/га, чем при их бессменном выращивании на одном поле более 100 лет (24-36 тыс. МДж/га). При этом наименьшая продуктивность отмечена при выращивании яровых зерновых (24,4), а наиболее высокая – на делянках бессменного клевера (56,8 тыс. МДж/га).

БЕССМЕННО

Пар												
Без извести												121
севооборот во времени												
Без извести												122
Рожь												
По извести												
Без извести												123
Картофель												
По извести												
Без извести												124
Ячмень												
По извести												
Без извести												125
Клевер												
По извести												
Без извести												126
Лен												
По извести												
культуры	N	P	K	0	NP	NK	PK	NPK	NPK	навоз	№ поля	
Без извести												
Севооборот												
По извести												
■ низкая, 10-30; ■ - средняя, 31-50; ■ - высокая, 51-70; ■ - очень высокая, более 70												

Рисунок 5.1.8 – Влияние приемов окультуривания на продуктивность полевых культур (мДж/га), 1973-2022 гг

Из изучаемых вариантов удобрений наиболее эффективным в повышении продуктивности полевых культур было внесение полной дозы минеральных удобрений в сочетании с навозом.

В вариантах без удобрений, а также при внесении отдельных элементов питания (N, P, K) и их парных сочетаний продуктивность возделываемых культур снижалась в среднем на 23-33%, а на фоне NPK – на 10,2% по сравнению с вариантом NPK+H.

Установлено, что вовлечение залежных земель, в интенсивный сельскохозяйственный оборот на фоне без удобрений снижает запасы гумуса во всех слоях метровой части профиля и, особенно сильно, в пахотном (11,5 т/га), корнеобитаемом (7,9 т/га) и слое 0-50 см (7,1 т/га). В слое 0-100 см эти различия сглаживаются и составляют 1,7 т/га. Ежегодное внесение в среднем за 102 года 17,8 т/га навоза в чистом пару стабилизирует запасы гумуса в пахотном слое на уровне многолетней залежи, а при других способах размещения культур отмечается увеличение во всех исследуемых слоях (рис. 5.1.9)

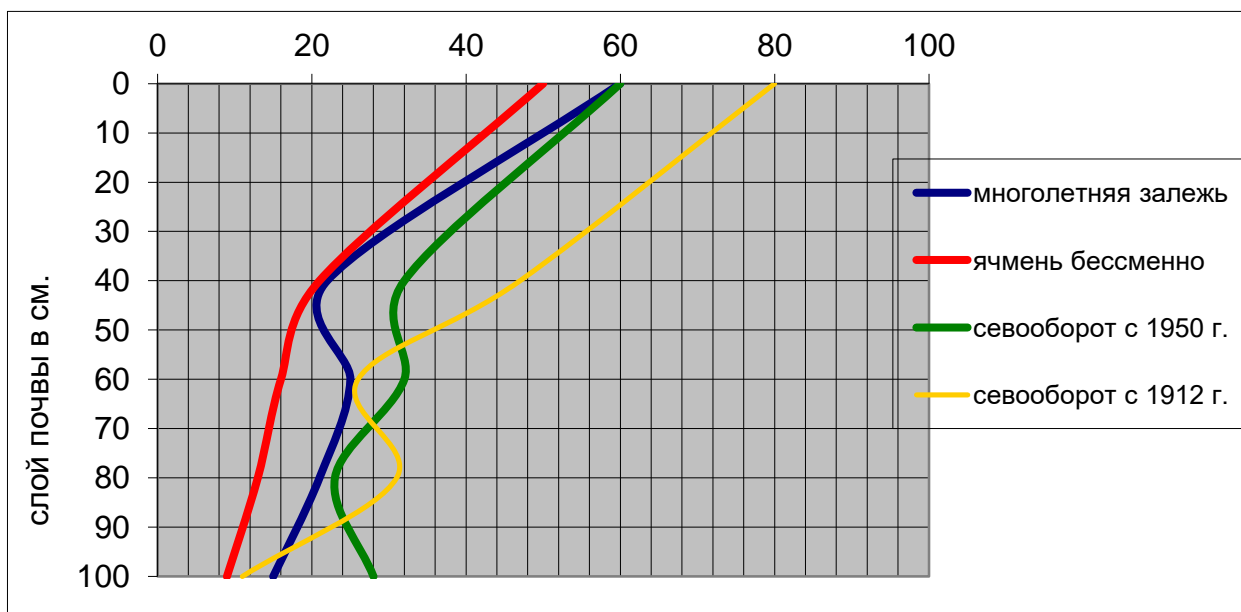


Рисунок 5.1.9 – Влияние способа использования пашни на распределение запасов гумуса (т/га) в верхней части почвенного профиля

Длительное использование почвы под агроценозами разной интенсивности сопровождается не только изменением содержания и перераспределения запасов гумуса в верхней части почвенного профиля, но и в значительной степени определяет содержание подвижных форм фосфора и обменного калия (рис. 5.1.10-11).

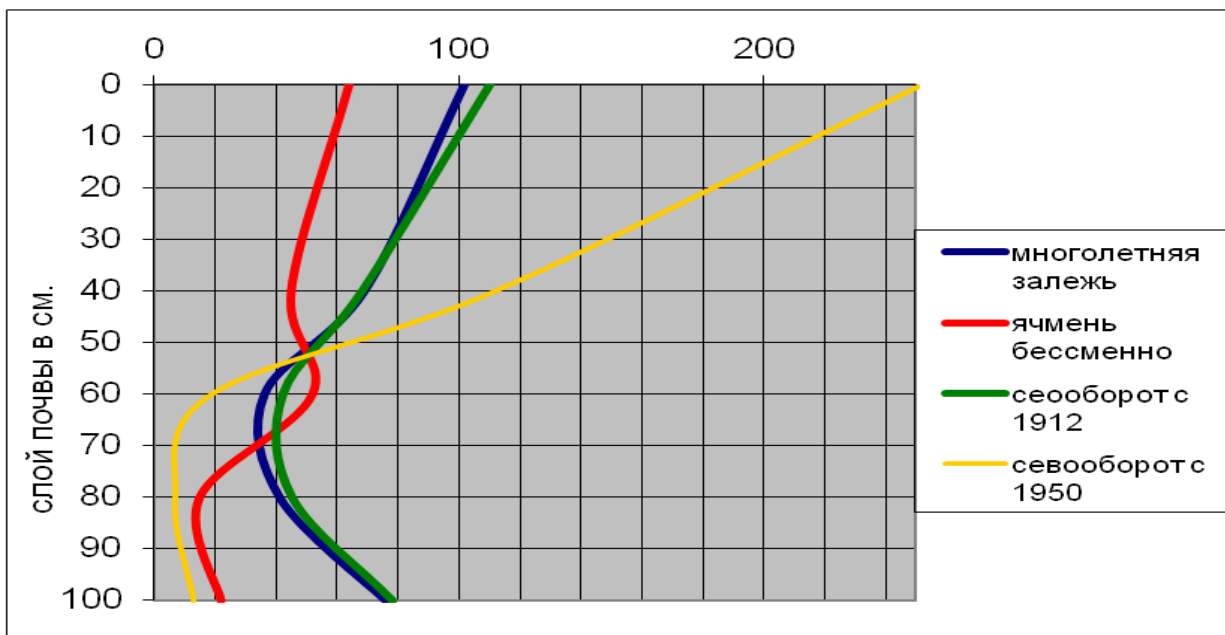


Рисунок 5.1.10 – Содержание подвижного фосфора (мг/кг почвы) в верхней части почвенного профиля

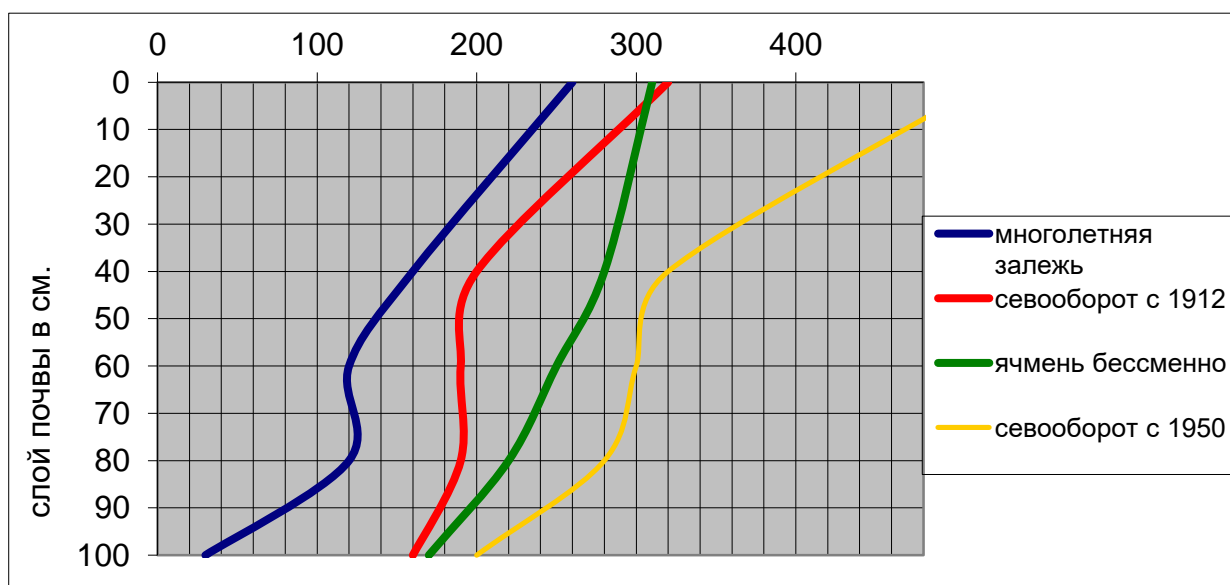


Рисунок 5.2.11 – Содержание обменного калия (мг/кг почвы) в верхней части почвенного профиля.

Установлено, что в естественном биоценозе распределение элементов питания имеет резко дифференцированный характер, а под агроценозами – выравненный. Отмечена устойчивая тенденция увеличения содержания подвижного фосфора и обменного калия во всех исследуемых слоях на вариантах с применением удобрений.

Это связано с частичным переносом этих соединений с пахотного в нижележащие слои с водорастворимой частью гумуса и илистой фракцией почвы, а также вовлечением их в органо-минеральные комплексы и переход в необменные формы.

Следовательно, при длительном воздействии природных и антропогенных факторов разной интенсивности на дерново-подзолистую почву отмечается существенное изменение свойств и режимов с увеличением содержания гумуса и элементов питания в верхней части почвенного профиля, особенно в сверх интенсивных агроценозах (чистый пар, севооборот, лен бессменно).

Выводы

Длительное систематическое применение минеральных и органических удобрений в сочетании с периодическим известкованием служит определяющим условием формирования высокопродуктивных и экологически сбалансированных агробиоценозов, а также наиболее рациональным способом быстрого окультуривания дерново-подзолистых почв:

- способствует формированию положительного (озимая рожь, клевер) или уравновешенного (яровые зерновые, лён) баланса органического вещества с более качественными органо-минеральными комплексами;

- повышает биогенность почв за счет увеличения массы свежего органического вещества в виде пожнивно-корневых остатков, что изменяет интенсивность и направленность биохимических процессов превращения органического вещества в сторону гумусоаккумуляции;

- обеспечивает бездефицитный и положительный баланс углерода, азота, фосфора и калия в почве, улучшает качественный состав гумуса и ионно-обменные свойства, увеличивает долю подвижных форм элементов

питания в общем их запасе в сторону наиболее благоприятную для питания растений;

- результаты длительных полевых опытов служат основой для оценки и прогнозирования плодородия почв, а также для разработки сбалансированной системы удобрений и комплекса природоохранных мероприятий.

- при длительном воздействии на почвенный покров дерново-подзолистых легкосуглинистых почв приемами окультуривания разной интенсивности изменяется плодородие не только пахотного, но и нижележащих горизонтов метровой части профиля.

5.2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ЦТЗ

В 2007 г. на базе Полевой опытной станции в рамках реализации инновационной образовательной программы «Формирование инновационной образовательной среды в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева для подготовки нового поколения специалистов аграрного профиля» был создан Центр точного земледелия (ЦТЗ) с целью организации и осуществления учебной, научно-исследовательской и инновационной деятельности на основе использования современных агротехнологий и принципов точного земледелия (Балабанов и др., 2013).

Для изучения агроэкологической эффективности технологии точного земледелия на опытном поле университета заложен стационарный полевой опыт общей площадью около 6 га, в котором демонстрируется две технологии возделывания сельскохозяйственных культур — традиционная система и система, основанная на принципах точного земледелия (рис. 5.2.1).



Рисунок 5.2.1 – Вид из космоса на поля Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (фото с сайта: <http://GoogleEarth.ru>)

Основой полевого опыта является зернопропашной севооборот с чередованием культур: викоовсяная смесь на корм – озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат – картофель – ячмень.

Главная цель деятельности Центра точного земледелия РГАУ- МСХА имени К.А. Тимирязева — обучение студентов технологиям точного земледелия, повышение квалификации профессорско-преподавательского состава, специалистов сельскохозяйственных предприятий, внедрение разработанных учеными университета элементов технологий точного земледелия, пропаганда передовых агротехнологий в области адаптивно-ландшафтного земледелия, передача их заинтересованным сельхозпроизводителям. На базе центра проводятся исследования по разработке сортовой агротехники высокопродуктивных сортов полевых культур, способов и приемов энергосберегающих и почвозащитных обработок почв, эффективных способов посева, приемов ухода, уборки урожая с использованием современной широкозахватной техники, оборудованной системой GPS. Ведется разработка высокоэффективных экологически безопасных систем защиты растений. Все эти направления позволят выполнять дипломные, магистерские и диссертационные работы студентами и

аспирантами различных институтов и факультетов университета (Беленков и др., 2011; Беленков, Мазиров, 2019).

Основными задачами деятельности Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева являются:

отработка на базе полевого стационарного опыта современных технологий точного земледелия;

проведение комплексных научных исследований;

внедрение элементов новых агротехнологий;

освоение и внедрение разработанных учёными университета элементов технологий точного земледелия;

обучение студентов, профессорско-преподавательского состава, привлечённых научных работников, практиков сферы АПК;

организация и проведение курсов повышения квалификации.

Центр точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева представляет собой один из элементов единой инновационной инфраструктуры университета, функционирующий как интегрирующая структура. На его базе реализуются учебные и научные планы и программы многих кафедр университета. Имеющийся в университете комплекс обеспечивает реализацию основных элементов технологии точного земледелия, в частности, дифференцированное внесение удобрений, учитывающее пестроту почвенного плодородия, средств защиты растений с учетом фитосанитарного состояния агроландшафта, проведение агротехнических мероприятий с использованием приборов параллельного вождения и спутниковой системы глобального позиционирования (Байбеков, 2018; Орлова, Чернов, 2006).

Результаты четырехлетнего испытания различных сеялок, используемых в опыте, и способов посева с.-х. культур приведены в табл. 5.2.1.

В наших исследованиях посев зерновых культур (озимой пшеницы и ячменя) проводился, в одном случае, по автопилоту, в другом, по маркеру.

При этом посев озимой пшеницы и ячменя на отвальном фоне осуществлялся сеялкой точного высева Д-9-30 с применением системы GPS и маркера. По варианту нулевой (без обработки) и минимальной обработок почвы проводился посев пневматической сеялкой прямого посева DMS только с использованием автопилота. Маркер при работе этой сеялки использовать не удастся в силу конструктивных и технических недоработок. Посев викоовсяной смеси проводится двумя сеялками: Д-9-30 на вспашке, DMS на нулевом варианте только с применением автопилота.

Таблица 5.2.1

Ширина стыковых междурядий и величина отклонений от стандартной величины междурядий сеялки

Культура	Сеялка Д-9-30 (отвальный фон)				DMS (минимальный)	
	По маркеру		Автопилот		Автопилот	
	Ширина стыкового междурядья, см	Отклонение, см	Ширина стыкового междурядья, см	Отклонение, см	Ширина стыкового междурядья, см	Отклонение, см
2009 год						
Ячмень	14,0	+2,0	12,3	+0,3	13,3*	+1,3
Вика+овес	-	-	10,5	-1,5	18,1	-0,7
Оз. пшеница	16,3	+4,3	14,3	+2,3	17,3	-1,5
2010 год						
Ячмень	15,2	+3,2	13,2	+1,2	14,1*	+2,1
Вика+овес	-	-	13,7	+1,7	19,1	+0,3
Оз. пшеница	17,0	+5,0	13,5	+1,5	20,2	+1,4
2011 год						
Ячмень	16,1	+4,1	14,6	+2,6	10,8*	-1,2
Вика+овес	-	-	12,6	+0,6	20,0	+1,2
Оз. пшеница	17,0	+5,0	13,5	+1,5	20,2	+1,4
Среднее за 3 года						
Ячмень	15,1	+3,1	13,4	+1,4	12,7	+0,7
Вика+овес	-	-	12,3	+0,3	19,1	+0,3
Оз. пшеница	16,8	+4,8	13,8	+1,8	19,2	+0,4

Примечание: ширина междурядий сеялок: Д-9-30 -12 см, DMS-18,8 см. Ячмень на минимальном фоне высевался сеялкой Д-9-30 со стандартным междурядьем 12,0 см.

В отдельные годы исследований наблюдается неодинаковая ширина стыковых междурядий между смежными проходами сеялок при посеве

зерновых культур и викоовсяной смеси по маркеру и автопилоту. Так, в 2008 году сеялкой Д-9-30 высевали ячмень по варианту отвальной обработки почвы. При этом получены отклонения величины стыковых междурядий от стандартной ширины междурядий, предусмотренных конструкцией сеялки, в случае посева ячменя по маркеру 3,4 см, с использованием автопилота – 1.5 см. Допустимое отклонение по ширине стыковых междурядий при посеве сеялками с использованием навигационных приборов $\pm 2,5$ см. Следовательно, посев ячменя по автопилоту в 2008 году удовлетворял предъявляемым требованиям. Отклонения в прямолинейности рядков при посеве по маркеру (от 3,5 до 5,4 см) привели к тому, что по традиционной технологии возделывания ячменя в посевах через каждые 100 м ширины поля образовывался клин с основанием равным 50 см, зарастаемый сорнополевой растительностью. Соответственно на больших площадях при посеве по маркеру отклонения от прямолинейности в проходах посевного агрегата будет постепенно увеличиваться, достигая на больших гонах существенных размеров, что скажется на качестве выполняемой операции и, как следствие, отразится на формировании продуктивного стеблестоя и урожайности культуры. Это может привести также к образованию перекрытий стыковых рядков или появлению незасеянных огрехов.

На рис. 5.2.2 показан внешний вид посевов ячменя разными способами посева по маркеру и автопилоту.

Посев зерновых культур в 2009 году также проводился двумя способами с различиями по фонам основной обработки почвы. В посевах озимой пшеницы, высеваемой по вспашке с применением маркера и автопилота, наблюдались отклонения величины стыковых междурядий соответственно 4,3 и 2,3 см. В посевах ячменя эти параметры составили 2.0 и 0,3 см. опять же проявляется преимущество способов посева технологии точного земледелия. Вика с овсом сеялкой Д-9-30 высевалась на вспашке только по автопилоту, при этом получена величина отклонения стыковых

междурядий порядка 1,3 см. Это укладывается в существующие нормы (Якушев и др., 2009).



Рисунок 5.2.2 – Вид посевов ячменя, осуществленного по маркеру (слева) и по автопилоту (справа)

На нулевом фоне по озимой пшенице и минимальном для ячменя и викоовсяной смеси посев проводился пневматической сеялкой DMS. При стандартном междурядье 18,8 см в 2009 году получены отклонения на первой и второй культурах – 1,5 см, на третьей – 0,7 см. Следовательно, такие отклонения в конструкции рядков допустимы (поскольку $<2,5$ см)

В 2010 году несоответствия в ширине стыковых междурядий для отдельных культур проявилось следующим образом. У озимой пшеницы при посеве по отвальной обработке Д-9-30 по маркеру получено расстояние между смежными проходами сеялки 5 см, у ячменя – 3,2. При посеве по автопилоту соответственно получены результаты: 1,5; 1,2 см. Для вики с овсом эта величина равнялась 1,7 см. Отклонения при посеве этих культур сеялкой DMS с использованием системы GPS составили: для озимой пшеницы 1,4; ячменя 0,7; вики с овсом – 0,3 см. При ширине междурядий сеялки 18,8 см данные несоответствия вполне допустимы.

В 2011 году были получены похожие результаты прежних лет. Посев зерновых культур по автопилоту в сравнении с маркером зарекомендовал себя положительно, за исключением ячменя, по которому при посеве на

отвальном фоне с использованием навигационного оборудования получены отклонения 2,6 см, т. е. более агротехнически допустимых отклонений.

Посадка картофеля осуществляется картофелесажалкой GL-34Т со стандартным междурядьем 75 см по автопилоту и маркеру (табл. 5.2.2).

Заданная траектория движения агрегата, с использованием системы GPS, повторяется на варианте точного земледелия в ходе проведения гребнеобразования картофеля (Беленков и др., 2019). По традиционной технологии возделывания картофеля этот прием проводится при визуальном контроле, т.е. движением агрегата управляет механизатор. Ширина междурядий между проходами картофелесажалки при использовании маркера и автопилота различалась по отдельным годам незначительно, составляя по традиционной технологии интервал в среднем от 60-65 до 80-85 см, т.е. отклонение от стандартного междурядья сажалки (75 см) в пределах от -10 до +15 см.

Таблица 5.2.2

Ширина смежных междурядий и расположение растений картофеля на гребне при различных технологиях возделывания

Год	Ширина междурядий при посадке, см		Расположение растений на гребне, см	
	маркер	автопилот	маркер	автопилот
2009	от 65-до 81	$75 \pm 2,8$	от центра $\pm 6-10$	от центра $\pm 2,8$
2010	от 60-до 80	$75 \pm 3,3$	от центра $\pm 5-15$	от центра $\pm 3,3$
2011	от 70 до 90	$75 \pm 1,5$	от центра $\pm 5-15$	от центра $\pm 1,5$
среднее	от 65 до 83	$75 \pm 2,5$	от центра $\pm 5-13$	от центра $\pm 2,5$

Важным условием развития полноценного растения картофеля является его расположение по отношению к центральной части гребня, формируемое в ходе проведения гребнеобразования после появления всходов. Проведение гребнеобразования в посадках картофеля, которые возделывались по традиционной технологии обеспечивало формирование растений картофеля с отклонениями от центра от 5 до 15 см по отдельным годам (рис. 5.2.3).

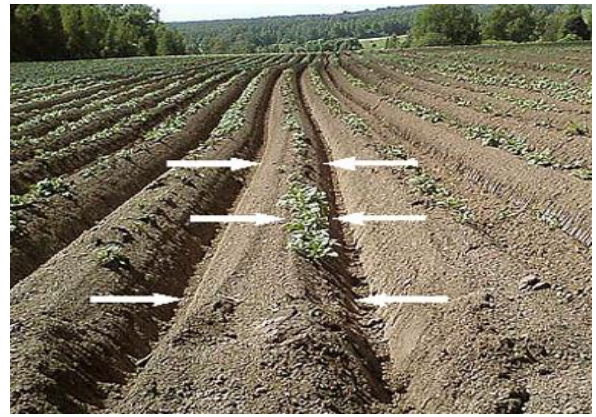


Рисунок 5.2.3 – Возможные проблемы при гребнеобразовании картофеля без автопилота (а– сужение гребня; б– отклонение от центра)

Это обуславливало односторонние изменения нарастания вегетативной части, неравномерность в образовании и развитии подземных клубней.

При выполнении технологии точного земледелия растения картофеля располагались практически по центру ряда с допустимым отклонением порядка 1,5-3,5 см (рис. 5.2.4).



Рисунок 5.2.4 – Посадка картофеля и гребнеобразование по автопилоту

В Центре точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для сканирования посевов используются оптический датчик RT-200 GreenSeeker[®] (США) (рис. 5.2.5) и N-Sensor[®] ALS (Германия) (рис.5.2.6).

Информация, получаемая при эксплуатации указанных приборов, представляется в виде электронных карт, обрабатывается при помощи компьютерной программы SMS Advanced и представляется в виде ГИС (геоинформационной системы) (Точное сельское хозяйство, 2009).

Особенно важно использование сенсорных датчиков при внесении азотных удобрений в виде подкормок, применение которых является решающим фактором для получения высоких урожаев и улучшения качества сельхозпродукции. Равномерное по площади внесение удобрений при неоднородном составе питательных веществ в почве приводит к их локальной передозировке или недостаточности. Следовательно, удобрения необходимо вносить в соответствии с потребностями растений, что обеспечивает оптимальную эффективность их использования.



Рисунок 5.2.5 – Система RT-200 Green Seeker в работе



Рисунок 5.2.6 – Работа системы N-Sensor ALS с машиной для внесения удобрений

Дифференциальное внесение минеральных удобрений – одно из важнейших экономических и экологических аспектов точного земледелия. Применение данной технологии и оборудования позволяет значительно сократить затраты на удобрения, т.е. вносить их в зависимости от потребности культурных растений, а также обеспечивает оптимальное содержание питательных веществ в почве (Беленков и др., 2018).

В течение нескольких вегетационных сезонов сотрудники Центра точного земледелия РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева периодически обследовали поля озимой пшеницы с помощью приборов Green Seeker® RT 200, N-tester® и N-sensor® ALS. Главной целью данных обследований было оценить азотный статус озимой пшеницы для проведения своевременной подкормки азотом. Был разработан алгоритм дифференцированного внесения

азотных удобрений для формирования урожая озимой пшеницы высокого качества. Алгоритм разработан на основе карт биомассы, построенных с помощью оптических датчиков с применением навигационных систем. На поле опыта Центра точного земледелия в течение вегетационного сезона 2011 г. проводились исследования биомассы пшеницы во время вегетации. В начале сезона (вторая половина апреля) в момент отрастания растений после зимы отмечена большая неоднородность посева, связанная с неравномерностью перезимовки, с применением разных технологий ухода за посевами и неоднородностью почвенных свойств (рис. 5.2.7). На варианте отвальной вспашки растения перезимовали лучше (заполненные зеленым контуры на карте). По краям поля проявляется краевой эффект – красными контурами показаны места, где посева были изреженными и слабыми. Первая подкормка озимой пшеницы аммиачной селитрой была проведена 28 апреля 2011 г. Подкормка проведена в режиме on-line с одновременным снятием показаний биомассы культуры от 28 апреля и представлена на рис. 5.2.8.

При сравнении карт на рис. 5.2.7 и 5.2.8 улавливается явная картина совпадения контуров, хотя при построении карт размер усреднения непрерывно снимаемых показателей различается примерно в 10-15 раз. Для прибора GreenSeeker®, используемого в нашем исследовании в ручном режиме, сетка опробования составляет примерно 1,5×3 м, для прибора N-sensor, монтируемого на крышу трактора, ширина захвата составляет 12-15 м (Мазиров и др., 2018).

На рис. 5.2.8 красной линией показана область посева, на которой проведена калибровка дозы внесения аммиачной селитры. Для калибровки выбирается участок поля с хорошо развитым и наиболее равномерным посевом.

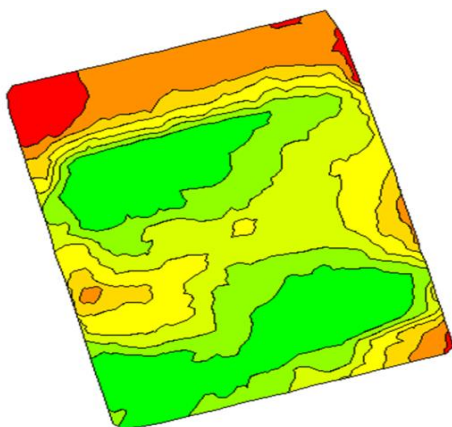


Рисунок 5.2.7 – Карта распределения NDVI посевов пшеницы в опыте ЦТЗ от 26 апреля 2011 г (Информация получена с помощью прибора Seeker®RT200, карта построена в программе SMS Advanced)

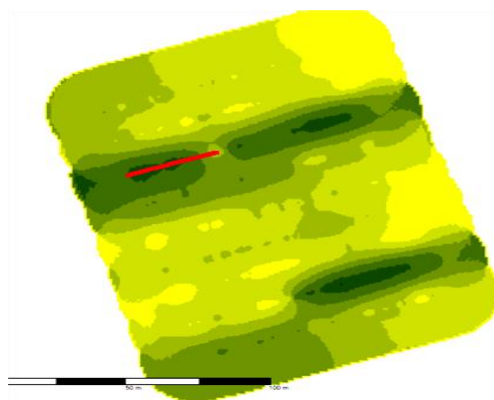


Рисунок 5.2.8 – Карта распределения биомассы озимой пшеницы от 28 апреля 2011 г (Информация получена и построена с помощью прибора N-sensor® ALS Yara)

Такому участку приписывается стандартное предписание на внесение определенной дозы удобрений.

Разработанный алгоритм внесения азотных удобрений в фазу выхода в трубку (ЕС 30–36) приведен на рис. 5.2.9.



Рисунок 5.2.9 – Алгоритм внесения азотных удобрений на озимой пшенице в фазу выхода в трубку (ЕС 30–36)

Согласно данному алгоритму при снижении биомассы посева ниже средней стандартной доза вносимых удобрений увеличивается, это должно

привести к выравниванию биомассы посевов. Но в то же время, если биомасса посева в какой-либо части поля снижается до определенного критически низкого значения, то удобрение здесь дается в минимальной дозировке или не вносится совсем. Таким образом, этот алгоритм предлагает три сценария внесения удобрений: 1 – внесение повышенных доз для выравнивания отстающих в развитии посевов, 2 – внесение средних доз для нормально развитых посевов и 3 – внесение минимальных (нулевых) доз для выбракованных частей поля, где состояние посевов неудовлетворительное. Три этих сценария были реализованы на опытном поле ЦТЗ.

Развитие направления точного земледелия, где управление продукционным процессом осуществляется через само растение, так называемое on-line, особенно актуально на новом витке научно-технического прогресса. Поэтому, помимо картограммы распределения почвенных свойств в точном земледелии необходимо использовать картирование биомассы посевов в различные фазы вегетации в режиме реального времени с использованием навигационных систем. Такие исследования проводятся с несколькими целями. Во-первых, по состоянию посевов в начале вегетации можно дать прогноз урожайности. Во-вторых, оперативное обследование посевов в определенные фазы развития служит обоснованием для внесения определенных доз удобрений в виде подкормки. В-третьих, обследование посевов в конце вегетации и подробный учет урожайности позволяет сделать вывод о неоднородности почвенных свойств и выделить на поле контуры для дополнительного исследования. Таким образом, по картам биомассы, составленным в разные сроки вегетации, можно получить дополнительную информацию как о состоянии культуры, так и о свойствах почвы. Карты биомассы также имеют геопривязку, что позволяет наложить несколько «слоев» карт друг на друга и проследить сезонную или многолетнюю динамику изменения биомассы, вызванную метеоусловиями, внесением удобрений и проведением других агротехнических мероприятий. Некоторые стабильные свойства почвы накладывают на карту биомассы постоянный

отпечаток, по которому можно выделить это место на поле с целью особой обработки или выбраковки. Например, если в одном углу поля биомасса в любой момент обследования будет ниже, чем на соседних участках, независимо от внесения удобрений и проведения технологических операций, значит, следует более подробно исследовать почвенные и иные свойства этого участка, найти причину постоянного недобора биомассы и урожая в этом месте. В случае, если плодородие почвы на данном участке невозможно восстановить, следует снизить дозу внесения удобрений на участок или полностью выбраковать его – в противном случае использование этого участка может оказаться экономически убыточным (рис. 5.2.10).

В нашем опыте стандартная доза удобрений для хорошо развитых и равномерных посевов составила 70 кг/га азота по д.в. (в виде аммиачной селитры). Такая же доза внесена на варианте традиционного земледелия по всей площади поля независимо от состояния посевов, а на варианте точного земледелия дозы азота в подкормке изменялись в зависимости от состояния биомассы. Доза 65-70 кг/га внесена на 12,7 % площади поля, доза 70-80 кг/га – на 66 %, свыше 80 кг/га – на 21 % площади посева.

На рис. 5.2.11 представлена карта внесения азота на поле озимой пшеницы.

Светло-голубой фон — зоны внесения стандартной дозы 70 кг/га азота. Синий фон — повышение дозы до 80 кг/га. Темно-синий фон — доза выше 80 кг/га. При сопоставлении карт видно, что по посевам с хорошей биомассой доза внесения азота составляет стандартную заданную величину 70 кг/га. Темно-синие пятна на рис. 5.2.11 показывают, что на эти места было внесено азота из расчета более 80 кг/га с целью выравнивания биомассы посева. Наибольший интерес представляет участок с исторически низкой урожайностью, где был осуществлен третий сценарий внесения удобрений. Здесь, в связи с неудовлетворительным состоянием, была значительно снижена доза азота.

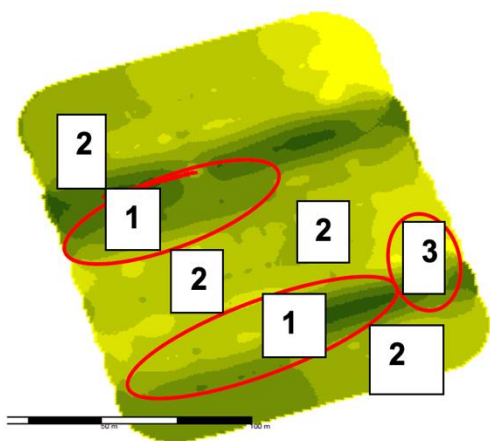


Рисунок 5.2.10 – Схема сценариев внесения удобрений на посевах озимой пшеницы при ранневесенней подкормке (апрель 2011 г.)

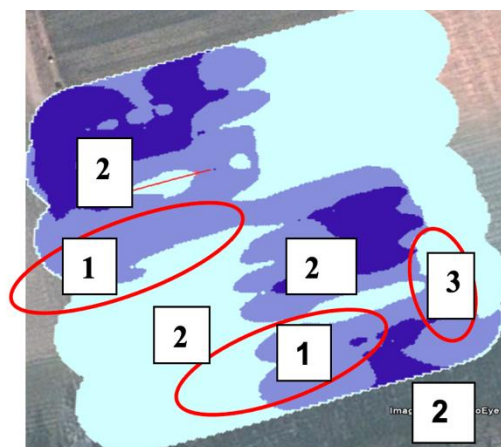


Рисунок 5.2.11 – Дозы внесения азота по технологии on-line в посевах озимой пшеницы

Эффект от применения азотных удобрений прослеживается на карте биомассы, представленной на рис. 5.2.12. При сравнении двух сроков обследования (конец апреля и начало июня) можно отметить, что после внесения азотных удобрений карта изменилась, биомасса стала более равномерной по полю. Однако «провал» биомассы четко прослеживается как в северо-восточном углу поля, где внесено 70 кг/га азота по традиционной технологии, так и на участке с исторически низкой урожайностью в юго-восточном углу поля, где заведомо была снижена доза азота (по технологии точного земледелия).

После уборки урожая была построена карта урожайности озимой пшеницы (рис. 5.2.13), построенная с использованием программы SMS Advanced.

В табл. 5.2.3 приведена урожайность по вариантам опыта и повторениям.

Критерием оценки технологии является не только урожайность, но экономическая эффективность. Рентабельность применения азотных удобрений и их окупаемость зерном озимой пшеницы на проблемных участках опыта ЦТЗ в 2011 г. представлена в табл. 5.2.4.

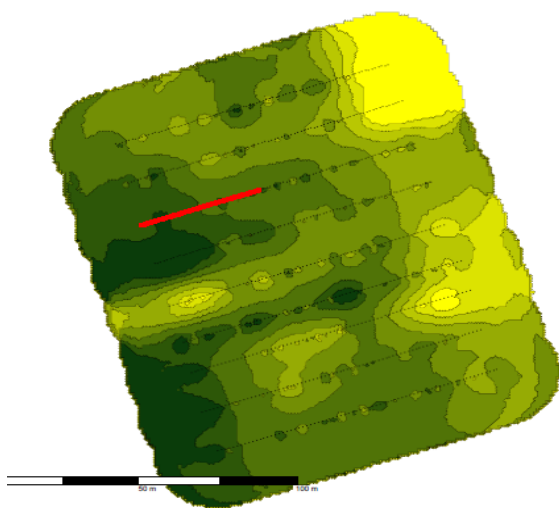


Рисунок 5.2.12 – Карта распределения NDVI озимой пшеницы от 2.07 2011

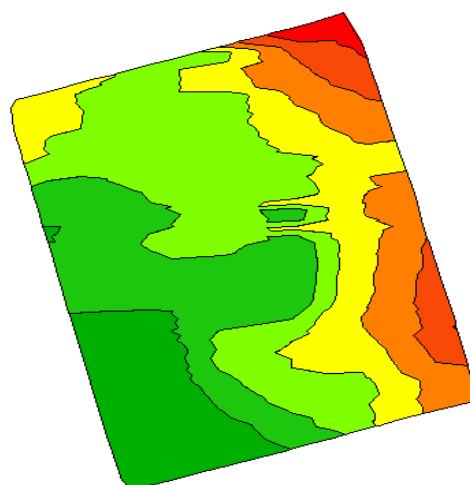


Рисунок 5.2.13 – Карта урожайности посевов озимой пшеницы в 2011 г.

Таблица 5.2.3

Урожайность озимой пшеницы в 2011 г., т/га

Технология (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Повтор	Урожайность, т/га	Средняя по обработке почвы	Средняя по технологии возделывания
Точная	Нулевая	1	3,60	3,55	3,63
		2	3,71		
		3	3,83		
		4	3,05		
	Отвальная	1	3,97	3,70	
		2	3,80		
		3	3,77		
		4	3,25		
Традиционная	Нулевая	1	3,74	3,53	3,59
		2	2,57		
		3	3,98		
		4	3,81		
	Отвальная	1	3,88	3,65	
		2	3,55		
		3	3,36		
		4	3,80		

НСР₀₅ (А) = 1,00 т/га; НСР₀₅ (В) = 0,23 т/га

Удобрения, вносимые на проблемные участки, имеют очень низкую эффективность. Поэтому на таких участках рекомендуется снижать дозы вносимых удобрений, тем самым повышая рентабельность производства (Беленков и др., 2016; Коткова, 2016; Матюк, Малахов, 2017).

Рентабельность применения азотных удобрений и их окупаемость зерном озимой пшеницы на проблемных участках опытного поля ЦТЗ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2011 г.

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Получено зерна на 1 кг внесенного азота	Рентабельность применения азотных удобрений, %
Контроль	2,4	-	-
Традиционное земледелие, азот 70 кг/га	2,73	4,7	- 44
Точное земледелие, азот 65 кг/га	3,11	10,9	+ 20

Внедрение в сельскохозяйственное производство технологии точного земледелия, позволяет дифференцированно воздействовать на конкретные участки поля, что позволяет экономить ресурсы и снизить антропогенную нагрузку на агрофитоценоз. В связи с этим мы изучали совершенствование системы гербицидов не только в отношении сроков и кратности их применения, но и возможности их дифференцированного внесения в системе точного земледелия. Данный способ внесения основывается на неравномерности распределения сорных растений по полю. Данные по сплошному обследованию и потенциальной засоренности посевов говорят о неоднородности распределения сорных растений по опытному участку. Это подтверждают и проведенные нами исследования по распространению сорных растений. В среднем за 6 лет исследований, несмотря на сравнительно небольшую площадь опытного наблюдаются различия в пространственном распространении видов сорняков. Наиболее засоренным оказалось поле 2, где численность сорняков по технологиям практически не отличается и находится на уровне 90 шт./м². Более 50% из этого количества приходится на торицу полевую, мятлик однолетний, тогда как на других полях севооборота их доля не значительна (рис 5.2.14).

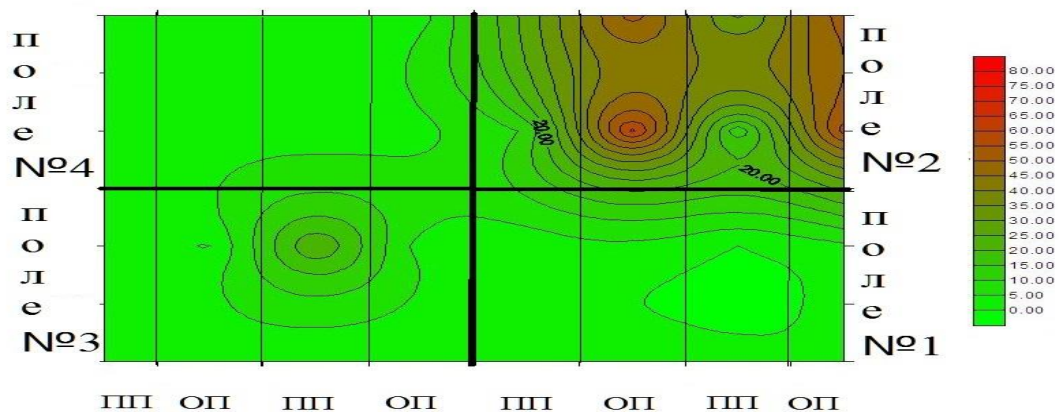
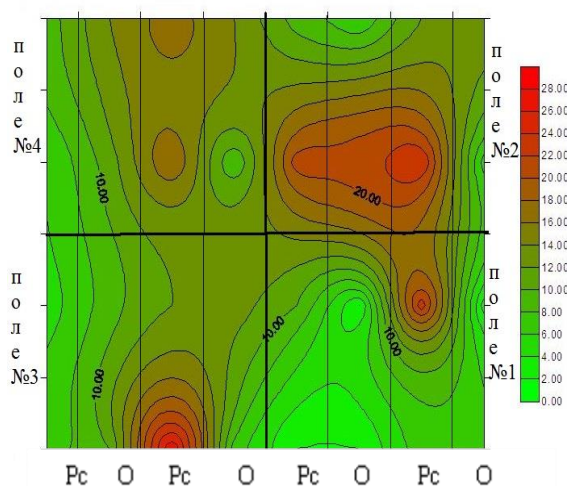


Рисунок 5.2.14 – *Пространственное распространение торицы полевой*

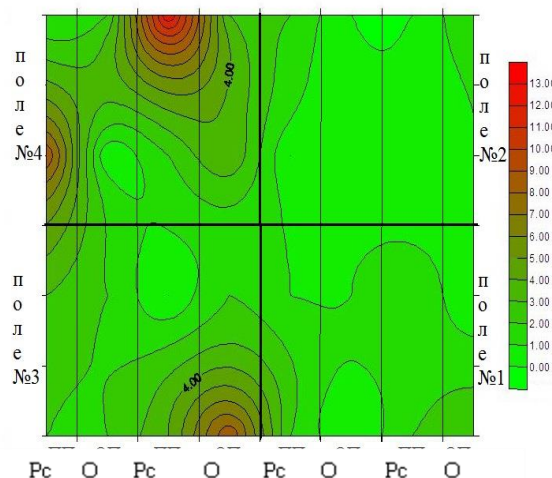
Минимальное количество сорных растений приходится на поле № 1, где основными представителями являются фиалка полевая и дымянка аптечная, также надо отметить увеличение количества сорняков в варианте минимальной обработки на 11 шт/м², а во втором поле на 20 шт/м² по сравнению со вспашкой. На поле №4 появляются в большом количестве пастушья сумка и марь белая, также на минимальной обработке присутствует 20 шт/м² мятлика однолетнего. Из многолетних сорняков на опытном участке чаще всего встречаются хвощ полевой, одуванчик лекарственный, осот полевой и бодяк полевой, их количество колеблется по полям севооборота от 1 до 8 шт/м² в зависимости от погодных условий, как правило они появляются в одних и тех же местах за счет вегетативного размножения. Наибольшее количество их отмечается на поле №4, по минимальной технологии 8 шт/м², а на вспашке 3 шт/м². На поле №2 многолетние сорные растения за 7 лет наблюдений встречаются в единичных экземплярах. Очаговое распространение сорных растений по участку опыта объясняется накоплением семян и органов вегетативного размножения сорняков на данных участках поля, и при благоприятных погодных условиях их количество может достигать от 100 до 150 шт/м² (торица полевая, мятлик однолетний, фиалка полевая) (рис. 5.2.15,16).

Неравномерность распределения сорняков по полю в системе точного земледелия позволяет использовать гербициды дифференцированно, используя систему GreenSeeker RT 200, которая состоит из нескольких

оптических датчиков, равномерно расположенных вдоль штанги опрыскивателя. За счет того, что каждый датчик имеет свой источник света, данная система может использоваться как в дневное, так и в ночное время суток. Таким образом, мы можем вносить препарат дифференцированно на основании показаний оптических датчиков, которые измеряют индекс вегетации биомассы NDVI и сравнивают полученное значение с заданным алгоритмом. После этого и в режиме online определяется норма расхода препарата на конкретном участке (Николаев и др., 2017)



*Рисунок 5.2.15 –
Пространственное
распространение малолетних
зимующих сорных растений
растений*



*Рисунок 5.2.16 –
Пространственное
распространение многолетних
сорных растений*

Третьим слагаемым элементом точного земледелия является - оценка содержания элементов питания почвы каждого конкретного участка поля. Один из способов такой оценки – отбор огромного количества почвенных проб, после чего каждый образец анализируется, определяется содержание в нём азота, фосфора, калия, микроэлементов, в результате чего формируется карта плодородия. Эта карта загружается в специальную программу SMS Advanced, формирующую задания для бортового компьютера машины для внесения удобрений. В результате на каждый квадратный метр поля будет внесено именно то количество удобрений и микроэлементов, которые

необходимы именно этому участку. Можно идти от обратного и анализировать не состояние почвы, а во время уборки оценивать урожайность не в среднем, а на каждом конкретном участке. Урожайность является важнейшим интегрирующим показателем эффективности и продуктивности посева озимой пшеницы, который зависит не только от применяемой технологии, но также и от метеоусловий вегетационного сезона и от неоднородности почвенных свойств конкретного поля. Проводя анализ урожайности, используют многофакторный дисперсионный анализ и для оценки достоверности различий используют показатель наименьшей существенной разности. Исходя из этих данных, составляется карта урожайности того или иного поля (рисунок 5.2.17).

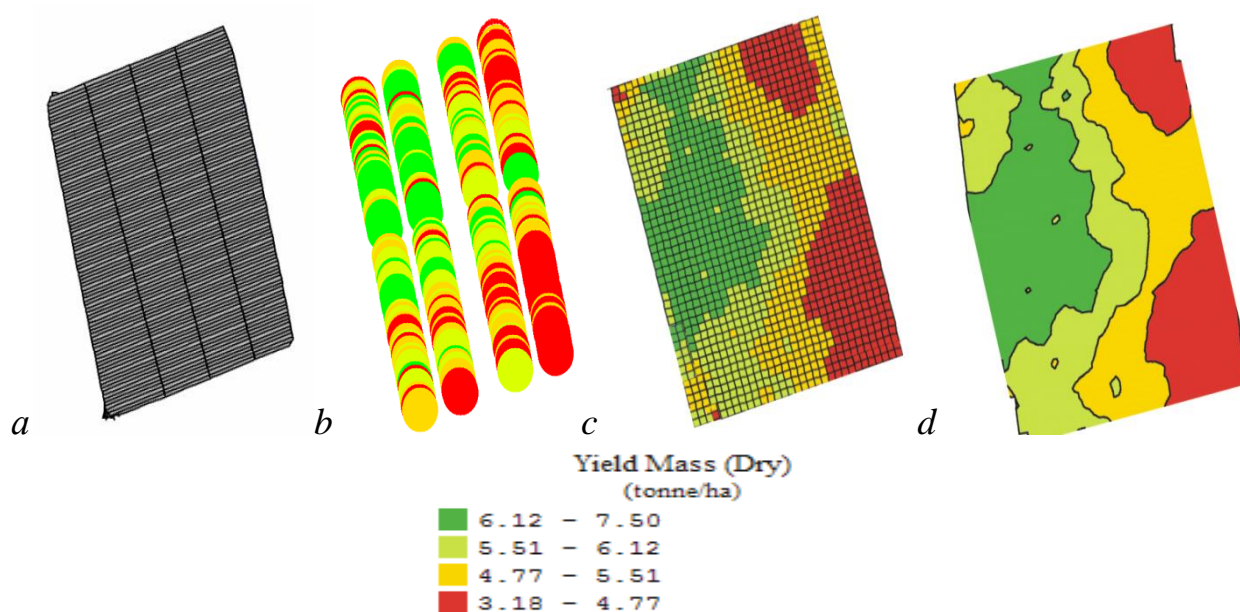


Рисунок 5.2.17 – Различное представление данных об урожайности культур (a - сетка сплошного учета урожайности; b - точки по центру каждой ячейки сетки сплошного учета, размер точки 10м; c - сетка 3×3 м, d - контур)

В нашем опыте основные изучаемые факторы – варианты опыта, представленные в двукратной повторности. В течение нескольких лет наблюдений было выявлено, что в связи с имеющейся неоднородностью почвенных условий, отклик растений на технологию возделывания в разных частях поля проявляется по-разному, с разной интенсивностью, что порою

сглаживает эффект обработки и сказывается на результатах дисперсионного анализа. Создается впечатление, что разница по урожайностям культур при возделывании по разным технологиям является несущественной в пределах поля, а это не так. Наличие большого количества точек учета при составлении карты урожайности позволяет нам осуществлять новые подходы для оценки эффективности технологий, и для данной задачи более наглядно будет использовать не только среднее значение урожайности по технологии, по учетной деланки, но и показатели доверительного интервала для этих значений.

В табл. 5.2.5 приведены данные за три ротации опытного севооборота по урожайности с.-х. культур за двенадцатилетний срок. В начальный период отмечалось преимущество минимальных, в т. ч. и нулевых обработок почвы (Беленков и др., 2016; 2019)

Так, викоовсяная смесь на корм в первой половине лет более высокую урожайность формировала на прямом посеве (2009, 2012, 2013, 2014 гг.). Однако, затем, в силу высокой засоренности культуры по данному варианту происходило существенное снижение продуктивности кормовой культуры. Во второй период урожайность вики с овсом по вспашке, в отдельных случаях, в 2, иногда и более раз превышала нулевую обработку (2017, 2019, 2020 гг.). В среднем за 12 лет разница между вариантами составила 2.0 в пользу отвальной.

Озимая пшеница также первоначально формировала более высокий урожай на прямом посеве. Это проявилось в 2009, 2010 и, особенно, в 2014, 2016 гг. Снижение продуктивности культуры в 2014 г. связано с получением изреженных всходов по вспашке сенью предыдущего 2013 г., из-за обильных осадков. Урожайность озимой пшеницы по овальной обработке в 1,7 раза уступала нулевой. В дальнейшем вспашка опережала прямой посев, вследствие повышенной засоренности посевов. Средняя за период урожайность культуры была практически одинаковой – порядка 5,0 т/га.

Урожайность культур за три ротации зернопропашного севооборота

в зависимости от приема обработки почвы, т/га

Обработка почвы	2009г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
	Викоовсяная смесь на корм												
Отвальная	21,3	20,5	10,8	20,6	22,1	24,5	31,2	25,3	22,8	13,8	7,6	22,6	20,3
Нулевая	25,0	19,4	9,4	27,3	24,3	25,3	28,9	27,5	6,0	11,5	3,8	11,0	18,3
НСР, т/га	2,40	1.1	0,60	3,10	2,0	0,83	3,07	3,10	4,35	2,20	2,8	6,9	-
Озимая пшеница													
Отвальная	4,26	4,70	3,68	6,31	6,12	2,75	6,74	5,00	5,46	5,46	3,59	6,73	5,07
Нулевая	5,14	3,98	3,54	6,15	5,87	4,59	6,73	5,52	5,13	4,83	2,55	5,96	5,00
НСР, т/га	0,42	0,59	0,22	0,14	0,19	1,42	0,11	0,39	0,29	0,47	0,50	0,52	-
Картофель													
Отвальная	40,2	23,0	24,4	19,9	28,6	25,1	31,4	31,0	25,8	27,4	33,5	28,0	28,2
Минимальная	36,9	20,0	23,0	18,3	25,9	24,6	26,2	26,7	22,5	25,2	27,5	24,8	25,1
НСР, т/га	1.18	1.04	0.90	0.56	0.16	0.90	1.08	2.11	2.28	1.79	2.12	2.02	-
Ячмень													
Отвальная	5,20	3,41	2,69	4,33	5,16	3,85	5,52	4,03	4,29	3,70	2,62	2,86	3,97
Минимальная	5,59	3,02	2,96	4,20	5,00	4,01	5,22	3,99	4,04	3,79	2,76	2,48	3,92
НСР, т/га	0,26	0,31	0,25	0,90	0,13	0,17	0,28	0,19	0,16	0,11	0,14	0,25	-

Таблица 5.2.6

Урожайность культур за две ротации зернопропашного севооборота в зависимости от технологии возделывания и приема обработки почвы, т/га

Технология возделывания	Обработка почвы	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее
Озимая пшеница										
Традиционная	Отвальная	4,23	4,50	3,65	6,31	5,80	2,75	6,74	5,00	4,87
	Нулевая	5,09	3,85	3,53	6,15	5,62	4,59	6,73	5,52	5,14
Точная	Отвальная	4,28	4,63	3,70	6,52	6,12	2,78	6,75	5,11	4,99
	Нулевая	5,18	4,11	3,55	6,35	5,87	4,56	6,75	5,60	5,25
Картофель										
Традиционная	Отвальная	38,9	21,7	24,0	19,1	27,6	24,9	30,7	30,0	25,9
	Минимальная	36,3	19,2	22,9	17,5	25,9	23,8	25,4	27,2	24,8
Точная	Отвальная	40,5	22,2	24,4	19,9	28,5	25,1	31,1	30,5	27,8
	Минимальная	37,5	20,7	23,2	18,3	26,2	24,6	26,2	27,7	25,6
Ячмень										
Традиционная	Отвальная	5,09	3,35	2,62	4,26	5,16	3,85	5,52	4,04	4,24
	Минимальная	5,39	2,99	2,83	4,18	5,00	4,01	5,22	3,99	4,20
Точная	Отвальная	5,40	3,47	2,76	4,33	5,20	3,88	5,55	4,11	4,34
	Минимальная	5,78	3,06	3,08	4,20	4,95	4,03	5,20	4,06	4,30

Картофель, традиционно, лучше отзывался на отвальную обработку, превосходя минимальную. По отдельным годам на 2,5-5,0 т/га, при этом средняя урожайность была на 3,1 т/га выше по вспашке в сравнении с альтернативным вариантом, что соответствует характерной закономерности.

Ячмень за годы исследований сформировал в среднем одинаковую урожайность зерна – 3,95 т/га. Здесь первоначально преобладала минимальная обработка. По этой карте, зная, какие участки поля дали больший урожай, а какие меньший, можно планировать программу внесения удобрений, возвращая почве то, что мы у неё забрали (Матюк, Полин, 2013).

В различные годы в зависимости от агроклиматических, почвенных, организационных и прочих обстоятельств лучше проявляли себя комбинация способов обработки почвы, подтверждая тем самым вывод о необходимости сочетания различных приемов в севообороте (Belenkov и др., 2018).

В табл. 5.2.6 представлены урожайные данные по культурам зернопропашного севооборота за период исследований (2009-16 гг.), когда в опыте ЦТЗ строго учитывались как варианты различных технологий возделывания, так и наличие приемов обработки почвы. Общей ситуацией можно отметить тенденцию незначительного превышения урожайности с.-х. культур по точной технологии в сравнении с традиционной. Обработки почвы проявляли себя по-разному (Беленков и др., 2019).

На озимой пшенице наблюдалось точной технологии относительно традиционной в среднем за 8 лет по отвальной обработке на 0,12 т/га, по нулевой – на 0,11 т/га. Относительно влияния обработок на урожайность культуры следует подчеркнуть, что прямой посев опережал вспашку впервые годы исследований по традиционному земледелию на 0,27, по точному на 0,26 т/га. Такая закономерность проявляла свое содержание до той поры, пока неукоснительно соблюдались основные принципы нулевых технологий – своевременно и систематически применялись пестициды, качественно проводился посев озимой пшеницы с использованием соответствующих сеялок в зависимости от варианта обработки, все агроприемы выполнялись в

срок. В дальнейшем (2017-20 гг.), в связи с нарушениями, в некоторых моментах, технологий, нарастанием распространения и развития сорняков, болезней и вредителей прямой посев существенно уступал вспашке, о чем свидетельствует информация табл. 5.2.5, средняя урожайность озимой пшеницы была одинаковой.

Картофель за восемь лет проведения опыта сформировал урожайность по точной технологии на делянках отвальной обработки на 1,9 т/га выше традиционной, по минимальной обработке эта разница составила 0,8 т/га. Обработки почвы между собой различались: по традиционной технологии прибавка урожая картофеля 1,1 т/га в пользу вспашки, по точной – 2,2 т/га. Следовательно, точная технология возделывания картофеля позволяла формировать более качественные посадки с расположением растений строго по центру гребня, увеличивая его мощность, способствующего формированию более крупных и полноценных клубней (Belenkov и др., 2020).

Точная технология на ячмене способствовала повышению урожайности по отвальной и минимальной обработкам одинаково – на 0,1 т/га. Различия в урожайности по вариантам обработки почвы практически отсутствовали, что свидетельствует о возможности проведения как отвальных, так и минимальных обработок под замыкающую севооборот культуру в НЧЗ.

Заключение

Пятнадцатилетний срок проведения полевого опыта Центра точного земледелия свидетельствует о возможности и необходимости продолжения подобных исследований, желательно на более высоком технологическом, экономическом и дисциплинарном уровне. Следует привлечь дополнительно освобожденных или минимально загруженных учебной и другой работой научных сотрудников соответствующего уровня специальной подготовки и квалификации для успешного ведения полевого опыта ЦТЗ.

6. МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ПОЛЕВЫХ ОПЫТАХ РГАУ-МСХА

Сейчас в сельском хозяйстве происходят глубокие изменения – внедрение прогрессивных технологий, рождение новых форм предприятий, отлаживание нового экономического механизма хозрасчета, коллективного подряда и др. Реализация этих мероприятий в итоге должна привести к росту культуры земледелия и повышению урожайности. Однако, как показывает опыт развитых стран с интенсивным ведением сельского хозяйства, высокая культура земледелия не исключает дестабилизирующего влияния неблагоприятных условий погоды и связанных с ним значительных колебаний объемов сельскохозяйственной продукции и урожайности отдельных культур по годам.

6.1. КЛИМАТ, КАК ИСХОДНЫЙ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР СРЕДЫ ОБИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Климат является исходным системообразующим фактором среды обитания всех биологических форм растительного и животного происхождения. Почва, растения, все процессы, происходящие в них это вторичные образования. Климат через соотношение тепла и влаги определяет разнообразие жизненных форм, интенсивность и направленность биогеохимических процессов любых экосистем, в том числе и прежде всего сельскохозяйственного назначения. Сельское хозяйство называют «цехом под открытым небом» (Чирков, 1986). И это действительно так, ведь

большую часть продукции мы получаем в условиях и под непосредственным воздействием факторов внешней среды (ресурсов света, тепла, влаги), а они, как известно, наиболее активны и наиболее изменчивы. Экологическая устойчивость, состояние и продуктивность агроландшафтов, большинство технологических процессов, эффективность применения разнообразных агротехнических приемов в сельском хозяйстве во многом зависят от сочетания погодно-климатических условий и их проявления. И вся история землепользования убедительно свидетельствует о том, что человек каждый раз вынужден был искать способы адаптации к меняющимся условиям среды обитания, через совершенствование агротехнологий, систем севооборотов, селекции, обработки почвы, удобрений и других мероприятий.

Определение понятия «климат» проводится на основании обобщения ряда справочников, а также основных курсов метеорологии и климатологии (Лосев, 1985; Хромов, Мамонтова, 1963; Хромов, Петросянц, 1994; Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

Историю климатологии начинают от древнегреческого астронома Гиппарха (190-120 гг. до нашей эры), который ввел термин «климат», происходящий от греческого слова «клиματος», что означает «наклон». Имеется в виду наклон солнечных лучей к земной поверхности. Климат считался зависимым только от высоты стояния Солнца над горизонтом, или от широты местности. Гиппарх выделял пять типов климата, затем стали выделять девять. Самый жаркий климат занимал полосу вдоль экватора шириной 12° по обе его стороны, при движении на север и юг последовательно, через каждые $5,5^{\circ}$ менялось 7 типов климата, а девятый – самый холодный – располагался к северу и к югу от 50° широты. Считалось, что в этом климате жизнь невозможна. Наиболее благоприятным признавался климат той зоны, где располагалась Греция. Такое представление о климате сохранялось очень долго, вплоть до XVII в.

В период Великих географических открытий люди убедились, что даже в одних и тех же широтах климат может быть разным. В XVII в. были

изобретены термометр, барометр и другие приборы для наблюдений за состоянием атмосферы, стали появляться первые метеорологические станции, изменились и представления о климате.

Уже М.В. Ломоносов отошел от эллинского «астрономического» климата, отметив роль моря и суши в его формировании. В 1845 г. Александр Гумбольдт определил климат как все изменения атмосферы, воспринимаемые нашим сознанием, и подчеркнул огромное значение для климата того или иного района распределения суши, рельефа, близости или удаленности от океана.

Три знаменитых климатолога конца XIX и начала XX в. – А.И. Воейков, В.П. Кеппен и Ю. Ганн – понимали под климатом среднее состояние атмосферы и совокупность атмосферных явлений за достаточно длительный промежуток времени в определенном районе.

В начале нашего века в фундаментальном словаре Брокгауза и Ефрона климат определялся как «среднее состояние атмосферы в данной стране. «Климат выражает совокупность погоды в данное время в данном месте». Такое определение климата почти полностью сохранялось много лет. Второе издание Большой советской энциклопедии определяет климат как «многолетний режим погоды, наблюдавшийся в данной местности. Под режимом погоды понимается совокупность и последовательность смен погоды» (т. 21, 1953). Почти полностью повторяет это определение и третье издание энциклопедии (т. 12, 1973): климат – это «многолетний режим погоды, свойственный той или иной местности», а режим погоды – это «совокупность всех условий погоды в данной местности за несколько десятков лет».

Известный советский климатолог С.П. Хромов в своем «Метеорологическом словаре» (1963) определил климат как «статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения». При этом С.П.

Хромов, как и его предшественники, под погодой понимал «совокупность метеорологических элементов в данный момент в данном месте».

Процессы обмена энергией и веществом в агроландшафтах, в отличие от природных экосистем происходят при непосредственном участии человека. Однако естественные эколого-климатические факторы определяют продуктивную устойчивость агроландшафтов не в меньшей, а в последние десятилетия, с учетом разбалансированности климата на фоне глобального потепления, нередко и в большей степени. Поэтому теоретическую основу землепользования должен составить комплекс научных знаний о взаимодействии между собой различных биоценозов и влиянии факторов среды обитания на их жизнедеятельность.

Проблема повышения устойчивости сельскохозяйственного производства к неблагоприятным погодным воздействиям и гидрометеорологическим рискам (засухам, суховеям, заморозкам, низким отрицательным или высоким положительным температурам, избыточному увлажнению и т.п.) в последние годы в условиях глобальных и региональных изменений климата существенно обострилась.

Как показывает практика, воздействие комплекса абиотических факторов на продукционные процессы агроландшафтов все чаще сводится к интенсивному дефициту основных факторов жизни растений. И эту проблему сложно не заметить. Если раньше многие представители агрономической науки и практики считали, что достигнутый высокий уровень культуры земледелия позволит уменьшить неблагоприятное влияние абиотических факторов и их сочетаний на экологическую и продуктивную устойчивость агроэкосистем, то теперь их взгляды в большинстве своем изменились. Более того, сейчас все чаще высказывается мнение, что в ближайшие десятилетия прогресс в сельском хозяйстве будет достигаться не столько за счет развития агрономической науки или внедрения новых агротехнических средств, высокопродуктивных сортов, гибридов и т.п., сколько за счет совершенствования методов получения информации о

климате и ее эффективном применении, а также за счет рационального использования природно-ресурсного потенциала территорий. А пока, с сожалением приходится констатировать, что эффективность использования биоклиматического или сельскохозяйственного потенциала климата в РФ не превышает 20%, что в разы меньше, чем аналогичные показатели в аграрной отрасли стран Европы и Северной Америки. Приходится еще раз напомнить, что природные ресурсы света, тепла, влаги, роль которых не подлежит сомнению, достаются человеку бесплатно. Следовательно, это не только не уменьшает значение информации о климате для эффективного планирования и организации сельскохозяйственного производства, но потребуют еще более полного тщательного ее учета и рационального применения.

В последние десятилетия в отечественной агроклиматологии по ряду причин не велись достаточным образом фундаментальные исследования по поиску принципиально новых научно-методических основ оценки влияния погоды на урожайность сельскохозяйственных культур и методов учета климатических особенностей при планировании и организации сельскохозяйственного производства. Отсутствие таких разработок зачастую вынуждало агроклиматологов, как отмечал Ф.Ф. Давитая (1964), для решения практических вопросов ограничиваться результатами ранее выполненных исследований. С учетом сложившейся ситуации проблемы должны были способствовать поиску новых научно-методических подходов к разработке рекомендаций по использованию информации о климате при решении практических задач сельскохозяйственного производства (Жуков, 1989).

Конечным результатом оценки агроклиматических ресурсов являлось их районирование, т.е. картографическое моделирование. При общем районировании использовались комплексные показатели тепло- и влагообеспеченности территории, а затем при частном районировании - климатические факторы продуктивности культур. Такая форма

представления результатов позволяет сравнить агроресурсы различных территорий. В условиях экстенсивного развития сельского хозяйства она вполне оправдана, поскольку если имеются сведения о требованиях культур к факторам внешней среды, то частное районирование отвечает на вопрос о возможности возделывания культуры в том или ином районе и о возможности интродукции культур и сортов.

Таким образом, в среднесрочной и долгосрочной перспективе в качестве центральной задачи гидрометеорологического обеспечения агросферы рассматривается оценка и анализ агроклиматических ресурсов территории, а также разработка рекомендаций по их рациональному использованию в сельском хозяйстве. Это является одним из основных векторов развития в направлении повышения продуктивности основных сельскохозяйственных культур и продовольственной безопасности страны в целом.

Продукционный процесс представляет собой уникальное явление, в котором тесно переплетается взаимодействие природных и антропогенных факторов. Если в природных экосистемах сбалансированность вещества и энергии достигается за счет многообразия населяющих данную территорию видов растений и животных, то в агроэкосистемах, в которых посев в идеале должен формироваться из растений одного биологического вида, такой баланс в принципе невозможен. Смена сортов сельскохозяйственных культур, появление новых агротехнических приемов при огромном многообразии почвенно-климатических условий нашей страны и межсезонной изменчивости метеорологических факторов не позволяют накопить и обобщить статистически репрезентативные данные, необходимые для выявления комплекса оптимальных (или близких к ним) агротехнических решений с учетом их отдаленных последствий. Попытки построения статистических (регрессионных) моделей, отражающих связь урожая с природными и антропогенными факторами на основе данных

многофакторного опыта, применяемых в агрометеорологии, не привели к большому успеху (Полевой, 1992).

В качестве центральной задачи встает оценка агроклиматических ресурсов территории и разработка рекомендаций по их рациональному использованию в сельском хозяйстве. Теоретические основы и методы решения этой задачи были развиты в работах Г.Т. Селянинова, П.И. Колоскова, Ф.Ф. Давитая, С.А. Сапожниковой, А.М. Шульгина, Д.И. Шашко, Е.С. Улановой, В.А. Моисейчик, А.П. Федосеевой, Ю.И. Чиркова, А.Р. Константинова, А.Н. Полевого, А.Д. Клещенко, И.Г. Грингофа и др. Фундаментальные труды и монографии указанных авторов составили базу агроклиматических знаний, и их разработки позволили успешно осуществлять агроклиматическое обеспечение многих мероприятий в сельскохозяйственной отрасли.

Как известно, климатические условия и соответственно агроклиматические ресурсы любой территории определяются взаимодействием трех основных климатообразующих факторов и процессов приходно-расходного баланса: солнечной радиации, циркуляционных процессов, происходящих в атмосфере и свойств подстилающей поверхности. Климат Нечерноземной зоны, в силу большой занимаемой территории, весьма разнообразен. Основные отличительные особенности, характеризующие агроклиматические ресурсы Нечерноземья – достаточная или избыточная обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой и умеренная или недостаточная обеспеченность их теплом.

Солнечная радиация служит основным источником энергии, приходящей к деятельной поверхности Земли. Вместе с теплом и влагой радиационный режим является основным и незаменимым фактором среды обитания растений. В соответствии с географическим распределением, годовые значения суммарной радиации изменяются с севера на юг от 65 до 86 ккал/см², при этом фотосинтетически активная радиация (ФАР), используемая растениями в процессах образования и накопления

органического вещества, рассчитанная в период с апреля по октябрь составляет от 29 до 36 ккал/см².

В качестве показателя теплообеспеченности сельскохозяйственных культур используют суммы температур выше 10°C, которые необходимы для завершения цикла развития в 80-90% лет. Продолжительность активной вегетации с температурой больше 10°C увеличивается от 50 дней в Заполярье до 150 дней в южной части Нечерноземной зоны. Сумма температур за этот период изменяется в широтном направлении от 400°C на севере до 2350°C на юге.

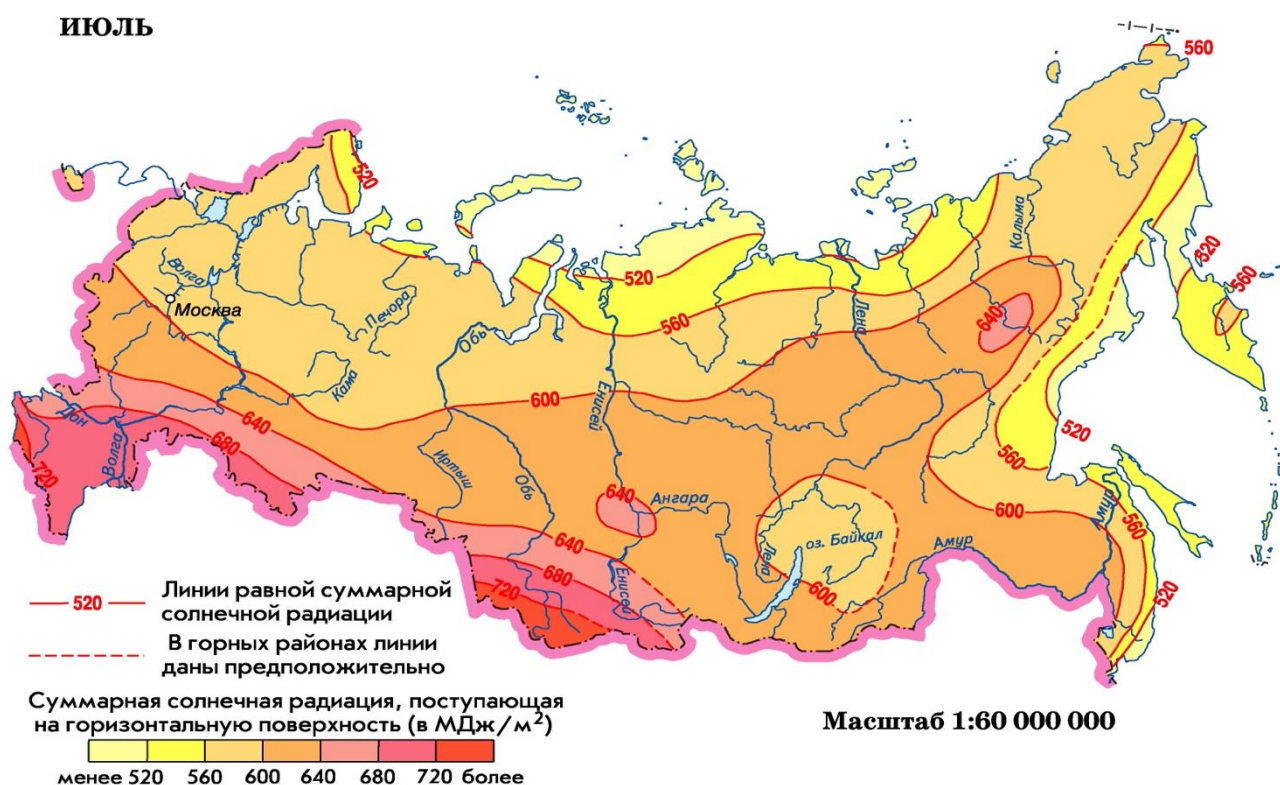


Рисунок 6.2.1 – Карта распределения суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность (Мдж/м²)

По термическому режиму на территории Нечерноземной зоны выделяют холодный и умеренный пояса, которые в свою очередь подразделяются на подпояса: очень холодный, собственно холодный и умеренный.

Холодный пояс занимает 58% территории и характеризуется низкой теплообеспеченностью, что ограничивает развитие земледелия. Низкая теплообеспеченность пояса определяет малую испаряемость. Территория характеризуется достаточным и избыточным увлажнением. На умеренный пояс приходится 42% территории Нечерноземья. Пояс в целом характеризуется положительным водным балансом, однако в отдельные годы в южных районах зоны возможна засуха. Территория умеренного пояса благоприятна для развития интенсивного земледелия и животноводства.

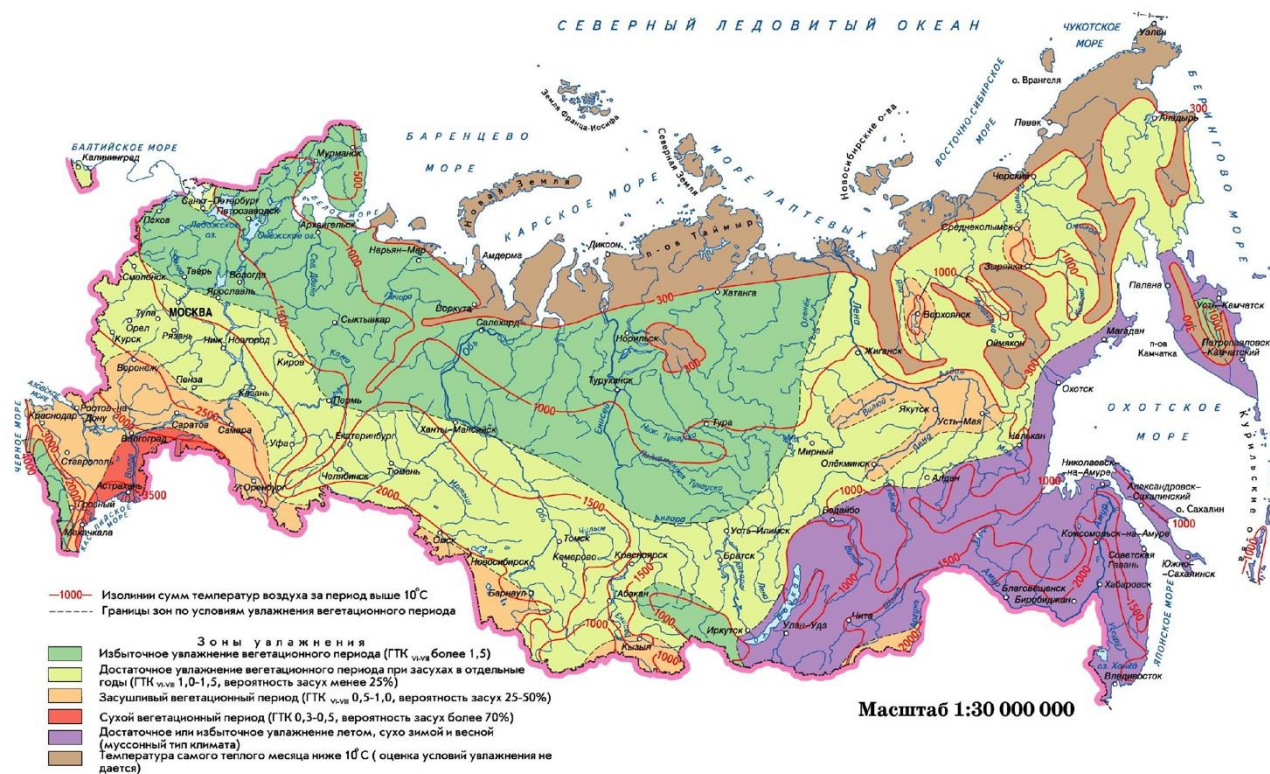


Рисунок 6.2.2 – Карта распределения зон увлажнения территории России

Изолинии теплообеспеченности тянутся в направлении, близком к широтному, а изолинии влагообеспеченности – приблизительно с запада – юго-запада на восток – северо-восток. Поэтому в более восточных районах одинаковые по теплообеспеченности территории имеют более сухой климат, а одинаковые по влагообеспеченности – менее теплый климат, чем в западных районах.

Началом осени, когда среднесуточная температура воздуха достигает 15°C по средним многолетним данным, для северных районов Нечерноземной зоны России можно считать период с 5 по 15 августа, а для южных – с 20-25 августа. При переходе температуры воздуха через 5°C отмечается прекращение активной вегетации озимых культур.

Переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C осенью в северных и северо-восточных районах происходит во второй декаде октября, в северных и северо-восточных районах происходит во второй декаде октября, в центральных районах – в конце октября, а в южных и западных районах зоны – в начале второй декады ноября.

Весной среднесуточная температура воздуха переходит к положительным значениям в первой декаде апреля. Озимые находятся в состоянии вынужденного зимнего покоя на севере в течение 7, а в западных и центральных районах зоны – 6 месяцев. Несмотря на суровые зимы в северных и восточных районах зоны, озимые не вымерзают, так как здесь на полях устанавливается достаточно высокий снежный покров. На большей части территории средний минимум температуры почвы на глубине узла кущения составляет от -5° до -8°C. Абсолютный минимум температуры почвы на глубине узла кущения ниже -18°C наблюдается в центральных районах зоны в 20% лет. Полная гибель озимых на большой площади в Нечерноземной зоне происходит очень редко (1 раз в 20-30 лет). В основном озимые выпадают из-за выпревания и вымокания растений. Растения выпревают, если в течение длительного времени (четырёх-пяти декад подряд) находятся под мощным снежным покровом (более 30 см) при небольшой глубине (<50 см) и слабом промерзании почвы (температура почвы на глубине узла кущения близка к 0°C). Повторяемость таких условий в восточных и северных районах составляет 30-50% лет, в центральных областях 10-20%, а в западных и южных районах зоны менее 10%.

Переувлажнение почвы осенью и ранней весной, когда в пониженных местах рельефа скапливается вода, приводит к частичному или полному

затоплению растений. Большая изреженность посевов (50-70%) от вымокания весной в пониженных местах на 20-30% площади поля возможна в 20-30% лет в северо-западных районах зоны. На юге и востоке зоны гибель озимых от вымокания бывает меньше. На остальной территории зоны многолетняя средняя изреженность растений составляет 25-50% на 15-20% площади поля.

Одной из важнейших задач гидрометеорологического обеспечения сельскохозяйственной отрасли является выбор и обоснование оптимальных сроков сева. Они определяются агрометеорологическими условиями и биологическими особенностями культур и их сортов. Путем выбора сроков сева можно регулировать устойчивость растений к неблагоприятным погодным условиям вегетационного периода, совмещая сроки наступления критических фаз развития растений и наиболее благоприятных природных циклов.

Начало весенних полевых работ определяют, прежде всего, по физической спелости почвы. Просыхание почвы до мягкопластичного состояния в большинстве районов Нечерноземной зоны происходит в сроки, близкие к переходу средней суточной температуры воздуха через 5°C. При этом запасы влаги в пахотном слое составляют не менее 20-50 мм. По многолетним данным, в северных и северо-западных районах Нечерноземной зоны почва достигает физической спелости 15 мая – 1 июня, в центральной части – 27 апреля – 3 мая, а на юге и юго-востоке – 23-28 апреля.

Сроки сева влияют на эффективность борьбы с сорняками, вредителями и болезнями. Задержка в сроках, либо преждевременный сев, как правило, ведут к потерям урожая. Запаздывание с посевом ранних яровых колосовых культур на 10-15 дней может привести к потере до 35% урожая. Причины несвоевременного сева могут быть разные, в том числе нередко из-за неблагоприятных погодных условий, сложившихся в этот период. В этом случае для планирования и организации сева важно иметь сведения о предстоящей погоде с некоторой заблаговременностью. Однако в настоящее

время, к сожалению, нет достаточно надежных долгосрочных прогнозов погоды. Поэтому оптимальные стратегии в сельском хозяйстве строятся на основании климатической информации, т.е. многолетних средних значений отдельных составляющих климата. Для планирования своей деятельности на будущее специалистам сельского хозяйства такой информации недостаточно.

В последние десятилетия в формировании климата Нечерноземной зоны, как и других отдельных регионов страны и всей планеты, существенно возросла роль антропогенного воздействия на природную среду, что приводит к колебаниям и изменениям основных климатических показателей – термического и влажностного режимов.

Среди множества процессов и явлений, формирующих состояние и критерии комфортности (или дискомфорта) жизнедеятельности растений и других живых организмов, роль температуры (как интегрирующего фактора природно-климатических особенностей) является преобладающей. Весь диапазон ее изменений от минимальной до максимальной, при которых еще возможна жизнь, определяет нижние и верхние пределы устойчивости организмов. Чем больше отклонение температуры от оптимальной для данного вида, тем больший стресс испытывает организм, тем сильнее угнетается его жизнедеятельность.

Одним из необходимых свойств растений является их способность к дыханию. Растительные клетки поглощают кислород, выделяют углекислоту независимо от процесса фотосинтеза. У растений зависимость фотосинтеза от температуры характеризуется кривой, на которой выделяются зоны минимума и максимума. Минимальная температура, при которой возможен фотосинтез может быть разной. Она отражает эволюционную приспособленность (адаптацию) вида к температурным условиям среды. У многих растений она совпадает с температурой замерзания тканевых жидкостей (-1... -3°C), но у наиболее холодолюбивых форм опускается до -5... -7°C. Максимальная температура фотосинтеза в среднем на 10-15°C ниже точки теплового угнетения. Оптимальной температурой для

фотосинтеза принято считать тепловые условия, при которых фотосинтез достигает 90% своей максимальной величины (Исаев, 2003; Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии, 1986).

Процесс накопления органического вещества растениями при температурах ниже и выше 20°C происходит медленнее, чем при температурах около 20°C. Иными словами для растений имеется своя тепловая зона комфорта, выше и ниже предела которой продуктивность снижается.

Температура почвы и температура воздуха функционально связаны. Особенно это касается реализации законов оптимума и ограничивающего фактора на различных фазах развития растений. Так, прорастание семян начинается только при определенных температурах, свойственных данному виду растений. Кущение многих злаков наиболее интенсивно происходит при температуре почвы 15-20°C на глубине 4-6 см. Напротив пониженная температура в зоне корней задерживает развитие и рост надземных органов растения. Снижение температуры почвы на глубине узла кущения ниже критических значений (до -16°... -18° для озимой пшеницы, до -22... -25°C для ржи) вызывает их вымерзание.

Высокая температура почвы (выше оптимальной) на растения действует угнетающе, снижает продуктивность и качество продукции. Температура почвы оказывает большое влияние и на процессы жизнедеятельности организмов, условия минерального питания, эффективность применения удобрений. Известно, что поступления в растения азота и фосфора при температуре 20°C в три раза больше, чем при температуре 5°C. С температурным режимом почвы связаны возникновение и распределение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и др.

6.2. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ТЕРРИТОРИИ «ПЕТРОВСКО-РАЗУМОВСКОЕ»

Новейшие данные метеорологических наблюдений и анализ среднегодовой температуры приземного слоя воздуха, как главного фактора отражающего изменения среды, показывают, что за последние годы отмечены значительные отклонения этой величины от среднемноголетних значений (Алексеев и др., 2014; Груза, Ранькова, 2012).

Для объективной оценки текущих экологических изменений и расчета климатической нормы, необходимой для интерпретации этих изменений нужны несколько условий: наличие длинного ряда наблюдений за погодой при соблюдении их однородности и непрерывность самих наблюдений в одном месте. Всем этим требованиям соответствуют данные метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА. В северной части Москвы, в Петровско-Разумовском, 1 января 1879 г. начались регулярные метеорологические наблюдения и продолжают уже более 140 лет по настоящее время. Климатические нормы, или многолетние средние величины основных двух элементов температуры воздуха и сумм осадков рассчитывали несколько раз за историю обсерватории (табл. 6.2.1).

Первые климатические нормы были получены по 35-летнему ряду с 1881 по 1915 гг. и вошли в «Климатический справочник по СССР» (1932). По мере накопления данных о погоде менялись и ее многолетние средние значения.

В «Агроклиматическом справочнике по Московской области» (1954) были обобщены сведения о температуре и осадках уже за 73 года с 1881 по 1953 гг. Нормы за 80 лет с 1881 по 1960 гг. представлены в «Справочнике по климату СССР» (1964). 100-летние нормы опубликованы в «Научно-прикладном справочнике по климату СССР» (1990). И, наконец, впервые нами выведены климатические нормы по температуре воздуха и осадкам за 140 лет – с 1881 по 2020 гг. Кроме того, отдельно выделен последний 110-

летний ряд метеонаблюдений, характеризующий агроклиматические условия в период проведения исследований на длительном полевом опыте ТСХА (1912-2021 гг.), которому также исполняется 110 лет.

В таблице 6.2.1 представлены месячные и годовые нормы температуры воздуха за указанные выше временные ряды. Просматривается общая тенденция к возрастанию температуры воздуха по мере увеличения ряда наблюдений. Это относится к средним месячным значениям в холодный и теплый периоды года и средней годовой температуре. Но если годовая норма за 140-летний ряд (4,8°C) по сравнению с нормой за 35-летний ряд (3,6°C) выросла на 1,2°C, то изменение средних значений температуры за отдельные месяцы более заметны. Например, апрельская норма поднялась с 3,4°C для короткого ряда до 5,2°C для длинного, т.е. на 1,8 °C. Учитывая, что каждый период осреднения (35, 73, 80, 100, 140 лет) включал все предшествующие годы, этот рост средних месячных и годовых температур можно считать достоверным.

Таблица 6.2.1

Месячные и годовые нормы температуры воздуха, °C (обсерватория им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)

Период, гг.	Кол-во лет	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Годовая норма
1912-2021	110	-8,6	-8,0	-2,6	5,7	12,7	16,9	18,9	17,0	11,3	4,9	-1,2	-6,1	5,1
1881-2020	140	-9,1	-8,2	-3,2	5,2	12,6	16,6	18,8	16,8	11,0	4,7	-1,6	-6,5	4,8
1881-1980	100	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1
1881-1960	80	-10,2	-9,6	-4,7	4,0	11,6	15,8	18,1	16,2	10,6	4,2	-2,2	-7,6	3,8
1881-1953	73	-10,4	-9,6	-4,7	4,0	11,6	15,7	18,0	16,2	10,6	4,1	-2,1	-7,7	3,8
1881-1915	35	-10,8	-9,1	-4,8	3,4	11,8	15,6	18,0	15,8	10,1	3,7	-2,8	-8,0	3,6

Для проверки основной гипотезы о повышении температурных характеристик за многолетний период проведена статистическая оценка динамики изменения температуры воздуха за 140 лет непрерывных метеорологических наблюдений, где были поставлены задачи:

- определить традиционные линейные тренды температуры воздуха по длительным рядам наблюдений;
- выделить характерные периоды тенденций изменения температуры воздуха относительно средней многолетней величины;
- оценить однородности ряда наблюдений за температурой воздуха по статистическим критериям.

Оценка динамики изменений температуры воздуха проводилась как для среднегодовых ее значений, так и для показателей за теплый и холодный периоды года. По среднесуточным значениям были сформированы статистические ряды – среднегодовых температур воздуха, средних ее значений за вегетационный период (май – сентябрь) и за период с сентября по апрель месяц. По данным длительных наблюдений были составлены три статистических ряда: средних годовых температур и за обозначенные периоды, где чётко прослеживаются линейные тренды, имеющие положительные тенденции (рис.6.2.1).

Для выделения различных периодов изменений температурных характеристик относительно их среднемноголетней величины использовалась разностная интегральная кривая, у которой ординаты (R_i) вычислялись по формуле:

$$R_i = \sum_i (K - 1), \quad (6.2.1)$$

где: i – номер года в хронологическом порядке ($I = 1 \div n$),

K_i – модульный коэффициент годовой величины температуры;

$K_i = T_i/T_{ср}$, где $T_{ср}$ – средняя многолетняя величина температуры воздуха относительно годовых значений и, соответственно, относительно рассмотренных сезонных значений.

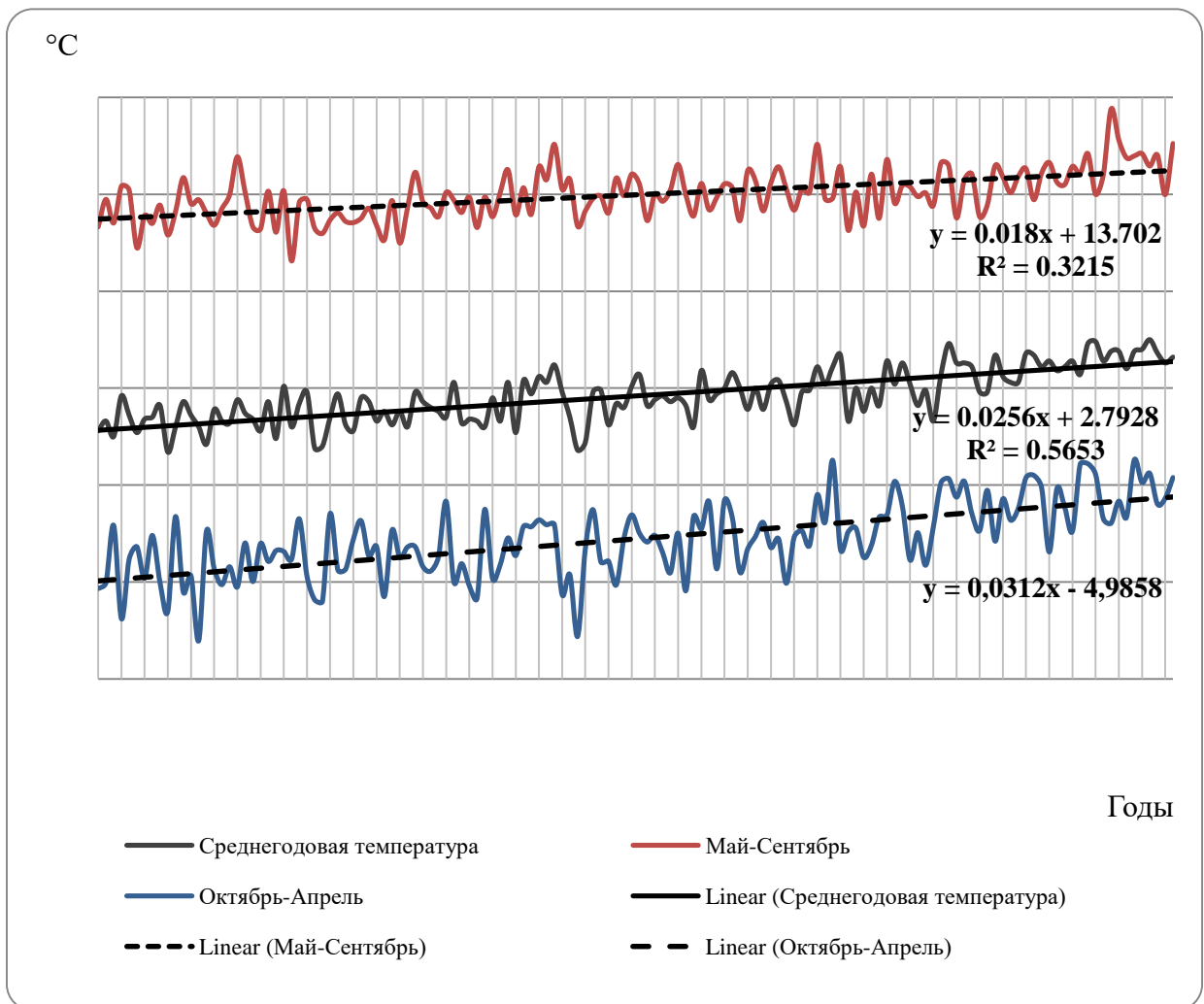


Рисунок 6.2.1– Хронологические графики многолетнего режима изменений температуры воздуха по годовым и сезонным значениям

На рисунке 6.2.2 представлены интегральные кривые для годовых и сезонных температур воздуха за период с мая по сентябрь и с октября по апрель. Представленные кривые отражают накопившиеся разности между текущими температурами за рассматриваемый период и средней многолетней величиной (для модульных коэффициентов, среднее – $K=1$). Если в рассмотренном периоде при положительных температурах первая производная функции кривой отрицательная (кривая понижается), то в этот период температура была ниже средней многолетней. На этом основании мы можем утверждать, что рассматриваемый период был холодный, а при подъёме кривой вверх – тёплый.

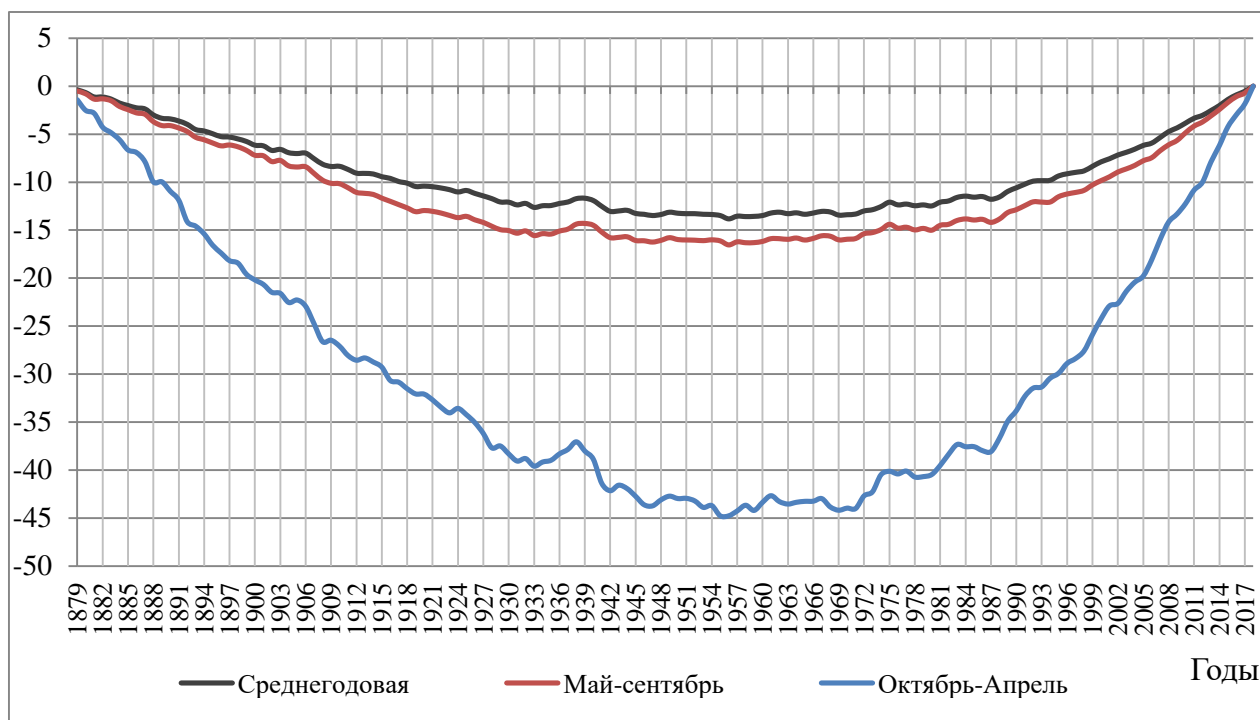


Рисунок 6.2.2 – Разностные интегральные кривые средних годовых температур воздуха и его средних температур за вегетационный период

Очевидно, что после 1987 года наблюдались в основном только «тёплые годы» и «тёплые сезоны», и практически весь период с 1988 по 2018 годы – тёплый. Поэтому для оценки однородности каждого (годового и сезонных) ряда наблюдений за температурой воздуха по традиционным критериям Стьюдента (t) и Фишера (F) весь ряд (в дальнейшем ряд 1) предварительно был разбит на периоды: 1879-1987 гг. (ряд 2) и 1988-2018 гг. (ряд 3).

Таблица 6.2.2

Статистические характеристики рядов наблюдений

Ряды наблюдений	среднее	D	σ	C_v
Ряд 1, годы	4,6	1,9	1,38	0,30
Ряд 2, годы	4,1	1,2	1,1	0,27
Ряд 3, годы	6,3	0,51	0,71	0,11
Ряд 1, лето	15,0	1,65	1,29	0,09
Ряд 2 лето	14,6	1,25	1,12	0,08
Ряд 3 лето	16,1	1,36	1,17	0,1
Ряд 1, зима	- 2,8	3,7	1,93	0,69
Ряд 2, зима	- 3,45	2,7	1,6	0,5
Ряд 3, зима	-0,6	1,51	1,23	1,9

Предварительно для всех анализируемых рядов, используя традиционный метод моментов, были вычислены основные статистические параметры: среднее значение, дисперсия (D) и среднеквадратическое отклонение (σ), коэффициент вариации (C_v). Их численные результаты представлены в таблице 6.2.2. Следует особо отметить, что полный 140 ряд наблюдений, ввиду своей исключительной длительности, позволяет его оценить методом моментов и определить коэффициент асимметрии. Его численные значения были получены по формуле (Сикан, 2007; Dmowska и др., 2011):

$$Cs = \frac{[n \cdot \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3]}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot Cv^3}, \quad (6.2.2)$$

где: K_i и n – те же обозначения, что и в формуле 1, а C_v – общеизвестный коэффициент вариации (отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению).

Значения коэффициента асимметрии по ряду годовой температуры и сезонным рядам получились сравнительно не существенными, где $Cs = 0,05 \div 0,2$.

Тем самым подтвердилась принятая изначально гипотеза, что температурные данные можно характеризовать посредством нормального закона распределения случайных величин, а степень однородности статистических рядов критериями Фишера и Стьюдента.

Критерий Фишера (F) определялся отношением:

$$F = \frac{D}{D^*} \quad (6.2.3)$$

где: D – дисперсия ряда, у которого это численное значение является большей величиной; D^* – дисперсия ряда, у которого оно является меньшей величиной.

Для оценки однородности рядов предварительно определялись значения степеней свободы рассматриваемых статистических рядов: $\nu_1 = n_1 -$

1 и $\nu_2 = n_2 - 1$. Полученное значение F сравнивалось с допустимым табличным F^* относительно степеней свободы при традиционно принятой характеристике уровня значимости $\alpha=0,05$.

Для оценки значимости различий температуры воздуха использовалась статистика t критерия Стьюдента, которая рассчитывалась по формуле:

$$t = \frac{\bar{T}_1 - \bar{T}_2}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} * \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (6.2.4)$$

где: \bar{T}_1 и \bar{T}_2 - средние значения суточных максимумов по данным наблюдений соответственно за n_1 и n_2 лет; а σ_1 и σ_2 - среднеквадратические отклонения значений сравниваемых рядов.

Распределение статистики t зависит от числа степеней свободы, в данном случае $\gamma = n_1 + n_2 - 2$. Критическое значение t_α при той же характеристике уровня значимости $\alpha = 0,05$ сравнивались с допустимыми по таблице распределения Стьюдента – t_α , на основании которых и принималось решение относительно однородности рядов по этому критерию.

Полученные значения критериев однородности рядов наблюдений относительно уровня значимости $\alpha = 0,05$ вместе с критическими табличными значениями представлены в таблице 6.2.3.

Таблица 6.2.3

Критерии однородности рядов наблюдений

Сравниваемые ряды	F	F*	t	t*	Оценка однородности
Ряд 1 и 3 (годы)	3,74	1,68	10,3	1,98	Не однороден по F и t
Ряд 2 и 3 (годы)	2,37	1,7	6,62	1,98	Не однороден по F и t
Ряд 1 и 3 (лето)	1,21	1,68	4,2	1,98	Не однороден по t
Ряд 2 и 3 (лето)	1,09	1,7	6,45	1,98	Не однороден по t
Ряд 1 и 3 (зима)	2,45	1,68	6,0	1,98	Не однороден по F и t
Ряд 2 и 3 (зима)	1,79	1,7	8,26	1,98	Не однороден по F и t

Гипотеза об однородности рассмотренных рядов не может быть поддержана как относительно годовых величин температуры воздуха, так и

сезонных. Это позволяет сделать вывод о существенном повышении температуры воздуха в регионе за последние три десятилетия.

Потепление климата, наблюдаемое в последние десятилетия, в первую очередь происходит за счёт повышения температуры зимних сезонов, что подтверждают не только полученные нами результаты, но и другие исследования, проведенные ранее (Белолобцев, 2010; 2011).

Таким образом, анализ многолетнего ряда метеонаблюдений обсерватории за термическим режимом территории в районе Петровско-Разумовское г. Москвы позволяет утверждать, что разностная интегральная кривая может служить в качестве достаточно объективного инструмента для выявления периодов с существенным различием температуры воздуха. Практически все использованные в представленном исследовании показатели и критерии изменения температуры доказывают факт неопровержимого потепления климата на данной территории.

Заметное увеличение средней годовой температуры произошло с начала 1980-х годов и особенно с конца 1990-х (табл. 6.2.4), где только три года за этот период годовая температура воздуха была ниже 140-летней нормы ($4,8^{\circ}\text{C}$), достигнув рекордной отметки в 2020 г. ($8,1^{\circ}\text{C}$). Анализ показывает, что основной вклад в увеличение средней годовой температуры воздуха вносят теплые зимы. Сравнивая климатические нормы 100-летнего (1881-1980 гг.) и 140-летнего ряда непрерывных метеонаблюдений (1881-2020 гг.), необходимо особенно выделить значительное возрастание температуры в январе (на $1,1^{\circ}\text{C}$) и феврале (на $1,0^{\circ}\text{C}$).

Результаты трендового анализа 140-летнего ряда наблюдений за температурой воздуха также подтверждают тенденцию к устойчивому потеплению климата. Согласно полученным данным за этот период отмечается четкая направленность к повышению температуры ($R^2 = 0,96$), где средние годовые ее значения возрастают от $3,5^{\circ}\text{C}$ в конце XIX в. до более $7,0^{\circ}\text{C}$ к началу XXI в. (рис.6.2.5).

Таблица 6.2.4

**Месячные и годовые значения температуры воздуха, °С,
1912-2021 гг. (обсерватория им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)**

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Средняя за год
1912	-15,9	-13,6	0	2	8,8	18,5	15,1	16,6	10,2	-0,2	-2,1	-3,7	3,0
1913	-9,9	-10	-2	8,7	8,9	14,2	17,8	18,1	11,2	2	1,8	-5,2	4,6
1914	-10,3	-1,3	-2,4	2,8	13,3	17	19,9	13,4	9,1	1,2	-5,2	-4,3	4,4
1915	-6,5	-6,5	-7,6	3,5	10,7	14,2	18,8	14,1	10,7	2,2	-2,6	-10,1	3,4
1916	-6	-5,1	-5,5	5,3	10	15,4	17,5	13,8	8	3,5	-1,4	-8,4	3,9
1917	-11,9	-17,9	-10,3	5,9	7,9	19,5	18	18,2	11,3	6,3	0,3	-8,1	3,3
1918	-7,4	-6,4	-6,1	5,4	6,4	15,2	17,9	13,9	10,5	7,2	-1,6	-7,5	4,0
1919	-9,5	-10,1	-8,4	4	9,3	17,3	19	14,2	13,2	4,7	-7,9	-8,5	3,7
1920	-9,7	-9,6	-0,5	9,4	15,9	15,2	21,2	18,6	11,3	-0,4	-3,6	-9,1	4,9
1921	-9,7	-10,9	0,7	10,4	16,1	17,6	15,9	15,8	9,1	3,1	-5,2	-9,2	4,5
1922	-10,5	-8,8	-3,4	4,8	12,6	15,9	18,6	15,9	9,8	2,4	-1,1	-6,4	4,2
1923	-7,5	-13,6	-5,1	0,6	12,8	15,2	16	13,6	12,3	7,1	2,7	-7,2	3,9
1924	-14	-11,7	-6,2	3,4	13,4	17,7	16,4	16,2	13,5	4,3	-1,4	-7,4	3,7
1925	-3,7	-2,3	-2	7	13,6	15	19,6	16,5	10,5	2,4	-2,9	-6,9	5,6
1926	-12,3	-10,6	-5,4	1,6	13,5	17,3	17,2	13,2	10,6	2,7	2,2	-10,1	3,3
1927	-14,8	-8,4	-3,4	3,7	9,7	16,7	18,9	18,6	11,9	3,6	-2,2	-11,6	3,6
1928	-7,4	-12,9	-7	1,7	12,2	12,7	16,8	15	11,2	4,4	2,6	-7,3	3,5
1929	-11,5	-19,5	-7,6	-1,3	15,4	14	18,6	18,6	9,1	7,6	0,4	-5,9	3,2
1930	-4,8	-10,9	-1,2	6,2	12,4	13,5	17,3	19,1	8,4	5,6	0	-10,4	4,6
1931	-11,2	-15,1	-5,2	2,7	14	15,3	20,8	16,9	9,9	4,1	-3,1	-7,3	3,5
1932	-4	-14,8	-7,5	4,3	14,3	17,9	19,7	19,3	12,2	6,2	-0,7	-1,4	5,5
1933	-13,1	-10,5	-3,8	4,5	9,6	15,5	20,2	14,6	11,1	4,8	-4,1	-14,7	2,8
1934	-7,4	-3,9	-2,3	6,2	15,2	13,8	20	16,9	12,2	7,4	1,8	-9,9	5,8
1935	-11,1	-4,8	-2,9	4,8	10,1	17,6	15,6	16,5	11,5	8,6	-2,4	-5,6	4,8
1936	-4,9	-13	-2	4,2	12,7	19,2	22,9	17,7	10	2,2	0,1	-2,5	5,6
1937	-11,6	-7,1	-1,6	7,5	11,7	18,2	17,8	17,8	13,7	5,8	-0,1	-8,4	5,3
1938	-8,9	-6,1	-0,8	3,8	12,2	16,1	23,5	21,7	14,8	6,1	2,7	-10,5	6,2
1939	-8,6	-4,1	-3,4	3,2	10,7	17,7	20,4	19,6	8,3	1,8	-0,6	-7,4	4,8
1940	-19,4	-11,8	-5,2	2,9	13	15,7	19,2	18,4	13	2,8	1,5	-7,6	3,5
1941	-14,2	-10,6	-6,4	1,6	7,4	12,5	21,2	17	9,1	2	-5,3	-12,9	1,8
1942	-20,2	-11,8	-9,8	3	11,8	14,1	18,2	16,4	10,6	6,2	-4	-7,7	2,2
1943	-15,3	-6,4	-2,5	6,4	12,6	16,2	17,8	16,6	11	5,5	-0,6	-3,7	4,8
1944	-3,7	-5,8	-2,4	1,5	12	15,5	18,4	16,2	12,8	5	-2	-8,8	4,9
1945	-10,6	-9,2	-5,8	3,5	8,5	15,4	18,3	17,6	10,9	2,5	-3,2	-9,8	3,2
1946	-8	-9,2	-4,2	4,3	11,2	20,2	18,8	18,4	11	0	-3,8	-7,8	4,2
1947	-10,3	-14,4	-4,9	4,8	10,8	17,5	18,4	16,6	11,6	3,1	-1,5	-3,8	4,0

Продолжение таблицы 6.2.4

1948	-7,8	-10,7	-4,5	5,8	15,4	20,2	16,6	17,5	10,9	4,5	-1,5	-4,7	5,1
1949	-3,8	-7,4	-2,7	4,4	15,3	17	17,5	16,2	12	5	-0,4	-4,4	5,7
1950	-18	-6,7	-2,2	9,1	11,9	15	15,9	13,9	11,9	4,8	-0,5	-5,6	4,1
1951	-12	-12,3	-3,8	8,4	9,6	17,5	18,4	18,2	11,8	2,7	-4,8	-1,3	4,4
1952	-4,2	-7,1	-9,1	5,2	10,2	17,1	17,6	16,7	12	3,8	-1,2	-5,8	4,6
1953	-10,3	-15,6	-2,7	7,1	11,4	19,1	19	17,2	9,8	5,6	-3,3	-5,7	4,3
1954	-14,3	-13,9	-3,4	3	12,7	18,9	20,9	18,3	12,3	5,6	-1,6	-5	4,5
1955	-6,4	-6,9	-4,8	1,4	10,3	15	17,9	18,1	14	7,8	-3,1	-14,2	4,1
1956	-10,8	-18,5	-3,6	4	10,7	20,8	15,2	14,6	8,5	4,7	-5,1	-4,1	3,0
1957	-6	-1,8	-6,2	6,7	14,5	15,4	18,7	17,3	12,4	5,2	-0,8	-4,6	5,9
1958	-6,8	-7,5	-6	4,2	13,2	15	18,4	15,7	9,1	6,2	-0,7	-7,5	4,4
1959	-4,2	-5,4	-1,2	6,7	11,5	17	20,7	17,2	8,2	2,2	-5	-10,9	4,7
1960	-9,2	-7,6	-5,4	5,3	11,8	18,6	21,5	16,3	9,9	2,3	-3,7	0,1	5,0
1961	-6,2	-2,4	0,1	4,2	12	19,3	19,5	16,8	9,5	6,4	-1,7	-8,2	5,8
1962	-4,6	-6,2	-5,2	7,6	13,2	13,4	16,4	14,7	10,9	6,4	1,2	-7,6	5,0
1963	-16,2	-10,1	-9,5	4	17,2	13,5	19,1	18	13,7	5,8	-0,3	-8,8	3,9
1964	-8,2	-10,1	-6,2	4,3	11,4	19	20,2	16,3	12	7	-2,4	-3	5,0
1965	-9,8	-10	-3,3	2,6	9,6	16	16,6	15,8	13,1	3,8	-5,7	-1,6	3,9
1966	-9,8	-9	-0,1	8,8	15,4	16,7	19,2	16,9	9,6	6,1	-0,9	-10,5	5,2
1967	-13,9	-10,3	0,3	6,6	17	16,6	18,2	18,6	11,7	8,9	0,6	-9,7	5,4
1968	-15,7	-8,4	-1,1	5,9	12,6	18,7	15,9	18,1	11,1	2,8	-2,7	-5,5	4,3
1969	-16	-13,2	-6,8	5,9	11,1	14,8	18,1	16,7	10,3	4,5	1,6	-9,2	3,2
1970	-10,4	-8,4	-2,8	5,8	12,7	16	19,7	16,5	11,4	5,3	-2	-6	4,8
1971	-3,8	-9,4	-4,3	3,7	13	16,8	17,6	17,2	10,9	3	-0,8	-5,8	4,8
1972	-14,9	-7,1	-2,3	6	12,7	19,4	23	22	11,3	5,1	-0,4	-1,1	6,1
1973	-10,2	-3,6	-1,1	7,8	13,3	18,6	18,3	16,1	7,6	3,5	-2,2	-6	5,2
1974	-10,1	-1,6	-0,6	3,6	9,6	16,5	18,3	16,2	13,5	8,8	1,6	-2,5	6,1
1975	-3,8	-6,4	1,2	10,1	16,1	17,9	18,9	15,3	13,9	4,2	-3,2	-4,2	6,7
1976	-12,2	-11,1	-2,6	5,8	11	13,8	16,3	14,7	9,9	-0,8	-1	-3,8	3,3
1977	-11,1	-6,3	-1	7,1	14,3	16,9	18,8	16	9,5	3	1,5	-8,3	5,0
1978	-7,3	-9,5	0,3	4,6	10,6	14,4	16,4	15,8	9,8	3,4	1,9	-14,6	3,8
1979	-10	-8,8	-1	3,3	17,3	17,5	16,7	17	11,7	3,8	-1,1	-5,7	5,1
1980	-11,3	-7,3	-6,1	5,9	8,2	18	17,2	14,7	10,6	5,2	-2,2	-4,4	4,0
1981	-5,6	-5	-3,1	3,3	14,1	19,9	21,8	17,4	10,8	7,8	-0,8	-3,7	6,5
1982	-10,2	-8,8	-0,7	5,2	12	13,8	18,4	16,7	11,8	4	1,8	-1,3	5,2
1983	-4,1	-6,9	-1,4	9,3	15,6	14,7	18	16,3	12,8	6,1	-1,5	-3,4	6,3
1984	-4,4	-9,9	-2,4	7,7	16	15,5	17,5	15,2	12,6	6,7	-3,5	-9,4	5,1
1985	-9,9	-13,7	-2,8	5,5	13,2	14,8	16,5	19,7	10,1	5,9	-3,5	-6,6	4,1
1986	-6,6	-13,3	0,3	6,7	13,7	18,7	17,9	16,6	8,5	4,3	-0,1	-7,5	4,9
1987	-17,5	-5,9	-5,2	2,9	13	17,9	16,9	15,1	9,1	4	-3,5	-7	3,3
1988	-7,2	-6,1	-0,9	5,5	14	19,5	21,6	16,6	11,4	5	-4,5	-7	5,7
1989	-2,2	-0,5	2,1	7,9	13,7	20,3	19,4	16,5	12,4	5,3	-2,6	-5,3	7,3
1990	-5,7	0,3	2	8,3	11	14,6	17,7	16,2	9,4	5,5	0,2	-3,4	6,3
1991	-6,3	-6,6	-1	7,3	13,6	19,1	18,4	16,4	11	6,7	0,9	-3,9	6,3

Окончание таблицы 6.2.4

1992	-5,2	-4,3	1,8	5,4	12,2	17	19,1	18,5	13,4	2	-2,6	-4,5	6,1
1993	-4,5	-4,9	-1,8	5,8	14,8	14,1	17,5	15,6	7	4,7	-7,8	-3,6	4,7
1994	-3,3	-11,2	-2,8	7,6	9,9	14,5	17,7	16,1	14,1	5,2	-2,6	-8	4,8
1995	-5,8	-0,8	0,8	9,3	14,8	19,8	17,7	17,1	13	6,9	-2,7	-9,4	6,7
1996	-9,7	-9,4	-2,8	6,7	16,1	16,8	19,1	17,5	12,1	6,2	4	-6,9	5,8
1997	-7,7	-4,6	-0,9	4,9	11,5	18,2	19,2	17,7	9	4	-0,6	-7,4	5,3
1998	-4,6	-7,5	-1	4,4	14	20,1	18,9	15,6	11	5,9	-7,8	-5,8	5,3
1999	-4,4	-6	-0,5	10,2	9	21,9	22,2	16,6	11,9	7,5	-4,7	-1,8	6,8
2000	-6,1	-2,7	-0,7	11,2	11,1	16,2	19,2	16,8	10,3	7,4	0,2	-2,4	6,7
2001	-4	-7	-1,9	11,3	11,3	16,4	23,2	17,1	12,4	5	-0,4	-10,4	6,1
2002	-4,7	-0,3	2,5	7,5	13	17,4	23	17,5	12,3	2,7	-1,4	-12,4	6,4
2003	-7,3	-8,3	-2,4	4,9	15,8	12,9	20,8	17	11,6	5,8	1,3	-1,9	5,9
2004	-6,2	-6,7	1,7	4,8	11,7	15,4	19,3	18,7	12,4	6,1	-1,3	-2,9	6,1
2005	-2,8	-8,6	-5,9	7,4	15	16,5	19,6	17,8	13,3	6,5	1,7	-4,1	6,4
2006	-10,7	-12,8	-3,5	6,2	12,7	18,3	18,2	17,6	13,6	7,1	0,7	1,2	5,7
2007	-1,5	-10,7	4,7	6	16,1	17,7	19,1	20,4	12,2	7,1	-1,9	-2	7,3
2008	-5,7	-1,4	1,9	9,7	11,5	15,7	19,3	17,6	10,9	9	2,4	-1,8	7,4
2009	-5,5	-5,2	-0,5	5,4	13,8	17,4	19	15,8	14	5,9	2,3	-6,3	6,3
2010	-13,9	-8	-0,9	8,7	17	19,2	26,5	22,3	12	4,1	2,8	-7,5	6,9
2011	-7,3	-10,7	-1,9	6,7	14,7	18,8	23,8	18,9	12,2	6,7	0,3	-0,2	6,9
2012	-6,6	-11,4	-2,9	8,4	15,3	17,1	21,0	18,0	13,0	6,6	1,6	-8,4	6,0
2013	-8,3	-3,3	-6,2	6,4	17,1	20,0	19,0	18,5	10,3	6,7	4,1	-1,7	6,9
2014	-8,4	-1,8	3,0	7,2	16,1	16,3	21,3	19,3	12,5	3,8	-1,2	-3,9	7,0
2015	-4,3	-2,0	2,3	6,2	14,3	17,9	18,4	17,7	14,0	4,5	0,9	0,3	7,5
2016	-9,9	-0,5	0,6	8,3	15,0	18,2	21,0	19,5	11,4	4,5	-2,6	-4,5	6,8
2017	-7,7	-4,5	2,5	5,4	11,0	14,3	17,9	18,8	12,9	5,0	0,1	0,0	6,3
2018	-4,3	-8,7	-4,9	8,0	16,1	17,2	20,3	19,8	14,7	7,4	-0,5	-5,5	6,6
2019	-6,5	-1,3	0,8	8,3	16,2	19,6	16,7	16,4	12,4	8,8	1,9	0,9	7,9
2020	0,1	-0,1	4,0	4,9	11,7	18,9	18,5	17,4	14,0	9,5	2,2	-4,1	8,1
2021	-5,7	-10,3	-1,2	7,6	14,3	20,2	22,1	19,4	9,8	6,5	2,2	-7,1	6,4
В среднем, 1912-2021	-8,6	-8,0	-2,6	5,7	12,7	16,9	18,9	17,0	11,3	4,9	-1,2	-6,1	5,1

На рисунке 6.2.5 отчетливо проявляется волнообразный характер колебаний температуры приземного слоя воздуха. Выделяется относительно холодный период в начале XX в., всплеск тепла в 30-е годы и бурный подъем в последние четыре десятилетия, где средняя годовая температура превышает климатическую норму за 100 лет наблюдений более чем на 2,0°C, достигнув рекордной отметки в 2020 г. – 8,1°C.

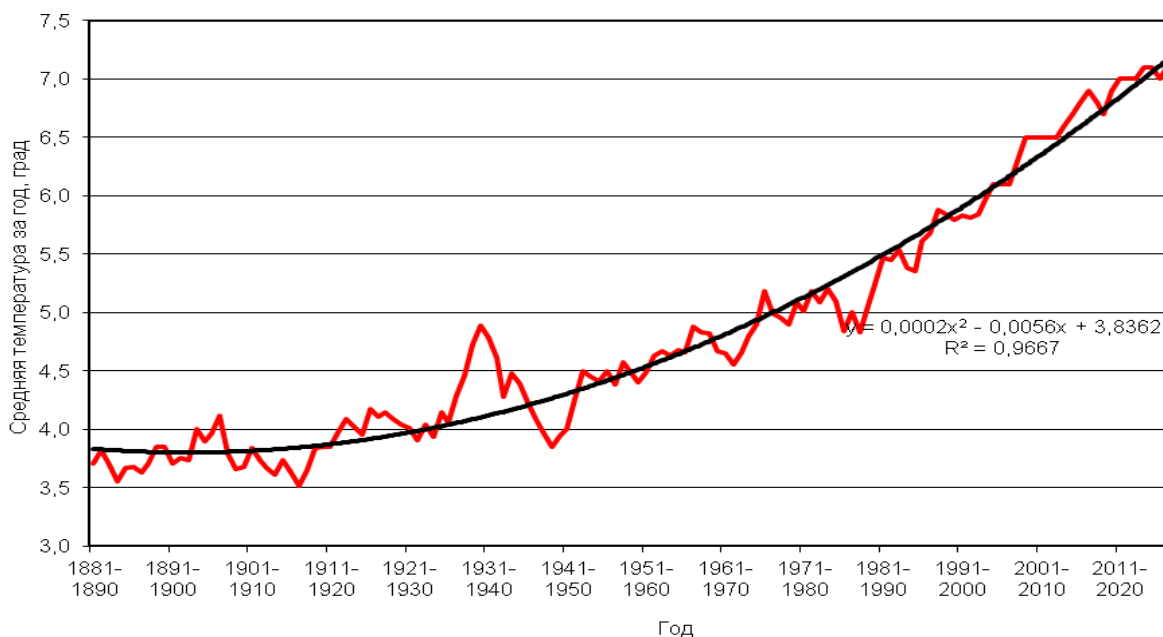


Рисунок 6.2.5 – Тренд годовых температур воздуха по скользящим десятилетиям, 1881-2020 гг.

Особенно показательны изменения в тепловом режиме при рассмотрении динамики сумм активных температур выше 10°C, которые характеризуют ресурсы тепла территории, потребности сельскохозяйственных культур в тепле и обеспеченность им растений. За весь период наблюдений наименьшая их сумма составляет 1276°C (1904 г.), а наибольшая – 2914°C (2010 г.). В географическом аспекте по количеству тепла это соответствует перемещению от широты Петрозаводска до Саратова (табл. 6.2.5).

Таблица 6.2.5

**Сумма активных температур воздуха выше 10°C. 1912-2021 гг.
(обсерватория им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)**

Год	$\Sigma_{\text{так}} > 10^\circ\text{C}$	Год	$\Sigma_{\text{так}} > 10^\circ\text{C}$	Год	$\Sigma_{\text{так}} > 10^\circ\text{C}$
1912	1840	1951	2155	1990	2082
1913	1965	1952	2126	1991	2466
1914	1884	1953	2010	1992	2480
1915	1842	1954	2385	1993	2055
1916	1734	1955	1981	1994	2073
1917	2072	1956	1781	1995	2558
1918	1528	1957	2405	1996	2301
1919	2043	1958	1892	1997	2186

Продолжение таблицы 6.2.5

1920	2493	1959	2060	1998	2472
1921	2346	1960	2137	1999	2450
1922	2043	1961	2094	2000	2258
1923	2044	1962	1820	2001	2383
1924	2220	1963	2495	2002	2561
1925	2119	1964	2286	2003	2529
1926	1968	1965	2070	2004	2333
1927	2094	1966	2220	2005	2400
1928	1925	1967	2432	2006	2527
1929	2083	1968	2073	2007	2595
1930	1802	1969	1929	2008	2296
1931	2181	1970	2227	2009	2505
1932	2513	1971	2101	2010	2914
1933	1963	1972	2499	2011	2783
1934	2349	1973	2070	2012	2809
1935	2084	1974	2102	2013	2660
1936	2472	1975	2466	2014	2692
1937	2446	1976	1743	2015	2587
1938	2439	1977	2186	2016	2564
1939	2122	1978	1820	2017	2211
1940	2311	1979	2449	2018	2751
1941	1666	1980	1831	2019	2513
1942	1931	1981	2686	2020	2657
1943	2108	1982	2207	2021	2618
1944	2122	1983	2423		
1945	1801	1984	2349		
1946	2214	1985	2181		
1947	2023	1986	2268		
1948	2424	1987	2095		
1949	2277	1988	2556		
1950	2130	1989	2636		

В колебаниях теплового режима также можно выделить закономерности: низкий уровень тепла в начале XX в. (1900-1915 гг.), с суммой температур 1840...1880°C; довольно бурный рост количества тепла в 30-е годы – 2240...2290°C и падение теплообеспеченности территории в 60-е и начало 70-х годов до уровня 2100°C, с существенными колебаниями сумм температур выше 10°C по годам в этот период (рис.6.2.6).

Резкий подъем уровня теплообеспеченности отмечен в конце XX в. и начале XXI в. Так, если норма сумм активных температур приземного слоя воздуха выше 10°C в период вегетации за 1881-1980 гг. составила 2072°C, то

за последние четыре десятилетия (1981-2021 гг.) сумма температур возросла в среднем до 2455°C, или почти на 400°C.

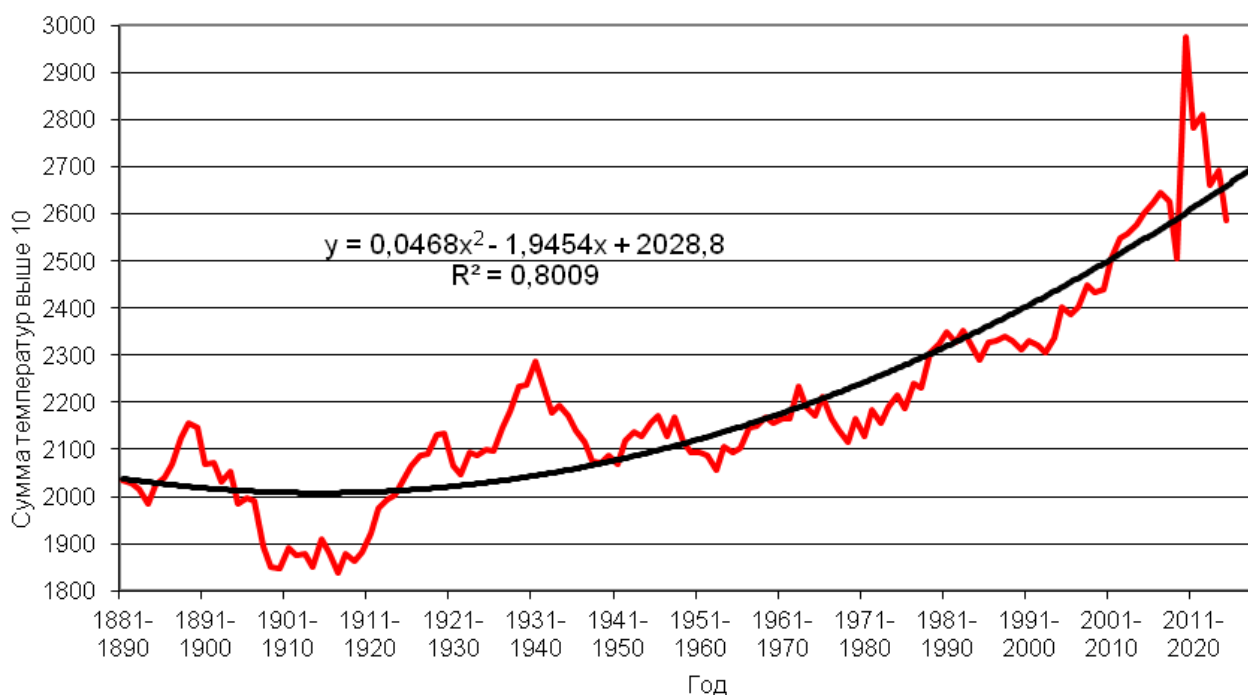


Рисунок 6.2.6 – Тренд сумм температур воздуха по скользящим десятилетиям, 1881-2020 гг.

6.3. РЕЖИМ УВЛАЖНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ «ПЕТРОВСКО-РАЗУМОВСКОЕ»

Наряду с теплом, основным и незаменимым фактором среды обитания при возделывании сельскохозяйственных культур являются осадки.

В таблице 6.3.1 представлены месячные и годовые нормы сумм осадков за соответствующие временные ряды. Годовые нормы сумм осадков за 140-летний период наблюдений возрастают по отношению к первому 35-летнему периоду на 35 мм, однако этот рост не так существенен.

Более показателен в плане изменений условий увлажнения тренд годовых сумм осадков за 140-летний период наблюдений. От уровня 600 мм в год в конце XIX в. наблюдается увеличение их годовых сумм до уровня 700 мм за первых два десятилетия XXI в. Причем, если в конце XIX и

начале XX вв. ряд лет отмечен суммами осадков менее 450 мм, то в конце XX и начале XXI вв. их сумма в отдельные годы превышала 930 мм. Тем не менее, согласно тренду в последние десятилетия условия увлажнения территории Центрального Нечерноземья не претерпели существенных изменений, с незначительной положительной динамикой к улучшению режима увлажнения вегетационного периода в последние годы (рис. 6.3.1).

Таблица 6.3.1

**Месячные и годовые нормы сумм осадков, мм
(обсерватория им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)**

Период, гг.	Кол-во лет	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Годовая норма
1912-2021	110	42	36	36	40	55	75	85	77	64	60	51	49	671
1881-2020	140	40	35	36	40	54	73	82	78	63	59	50	46	655
1881-1980	100	35	33	37	40	55	70	83	77	60	55	48	44	636
1881-1960	80	47	47	47	42	56	71	84	78	64	58	55	55	654
1881-1915	35	35	35	39	36	52	66	82	74	58	53	49	39	620

За последний 40-летний период, с 1981 по 2020 гг., почти 75% этого срока были с годовой суммой осадков выше многолетней средней величины (655 мм), рассчитанной по 140-летнему ряду (табл. 6.3.2). При этом с 1981 года средняя сумма годовых осадков составляет более 700 мм. Важно отметить и перераспределение их по сезонам года, а также отдельным месяцам, где отмечается устойчивая тенденция сокращения количества осадков в теплый сезон и увеличение их в холодный. Это является прямым следствием потепления климата в целом и холодных периодов года особенно.

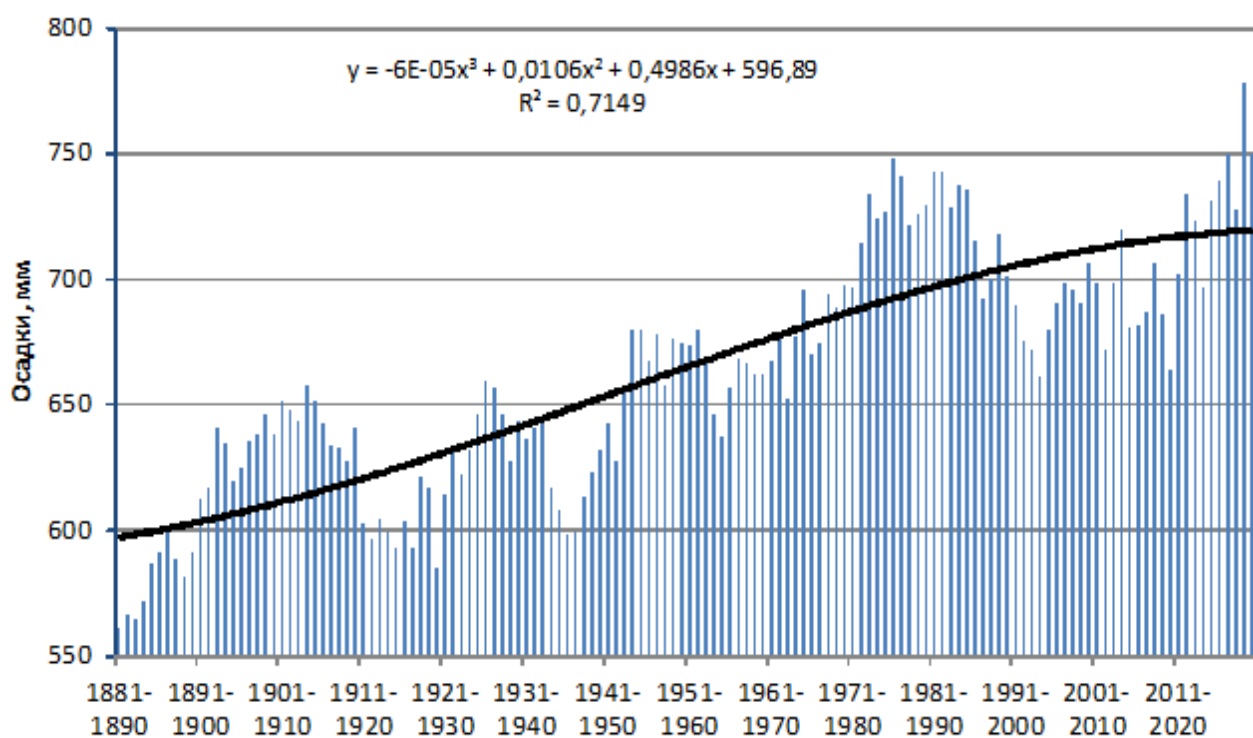


Рисунок 6.3.1 – Тренд годовых сумм осадков по скользящим десятилетиям, 1881-2020 гг.

Таблица 6.3.2

**Месячные и годовые суммы осадков, мм. 1912-2021 гг.
(обсерватория им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)**

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Сумма за год, мм
1912	20	31	33	74	90	32	59	52	52	68	42	62	622
1913	22	29	44	38	20	104	109	106	38	51	84	86	731
1914	19	37	64	27	16	57	43	117	57	37	55	39	568
1915	76	41	45	32	27	28	93	51	69	8	97	47	614
1916	22	40	24	37	44	56	113	108	63	121	25	43	696
1917	22	19	28	56	54	5	84	34	83	38	62	19	504
1918	42	19	9	25	36	122	61	160	93	11	12	62	652
1919	9	56	35	28	25	95	93	150	46	77	36	84	734
1920	36	16	18	9	20	95	40	25	57	23	12	32	383
1921	40	16	26	9	39	68	94	37	48	40	17	32	466
1922	29	25	26	63	97	111	41	129	37	59	47	36	700
1923	23	16	33	32	46	110	147	72	41	48	71	32	671
1924	43	18	31	74	80	48	82	46	36	10	20	23	511
1925	28	28	36	45	24	54	103	108	100	65	73	58	722
1926	19	29	26	63	33	49	59	48	62	110	42	49	589

Продолжение таблицы 6.3.2

1927	11	16	18	31	108	130	163	25	81	98	79	26	786
1928	25	12	7	49	56	118	61	58	88	55	52	31	612
1929	18	17	23	28	32	72	84	29	16	36	26	31	412
1930	16	17	72	17	35	22	160	50	122	74	57	31	673
1931	40	11	72	37	34	51	127	41	79	43	33	70	638
1932	22	28	20	38	33	59	45	59	66	69	66	56	606
1933	9	44	8	74	89	88	75	146	142	38	48	12	773
1934	16	40	37	56	25	102	89	99	38	65	60	26	653
1935	18	35	14	63	38	75	167	117	113	99	24	91	854
1936	68	47	18	39	23	67	29	73	62	58	54	27	565
1937	12	40	109	18	54	36	121	51	41	51	63	78	674
1938	41	25	24	29	44	75	37	1	42	43	63	8	432
1939	55	44	30	66	83	40	38	17	31	62	40	62	567
1940	46	40	63	27	2	46	78	41	110	55	65	31	604
1941	35	36	29	68	78	76	35	87	81	57	16	88	686
1942	16	25	18	32	65	184	61	65	26	69	17	40	618
1943	28	19	24	37	36	40	107	50	49	25	33	74	522
1944	41	28	34	40	73	50	106	55	49	24	39	20	559
1945	25	20	45	34	64	68	98	143	113	91	12	43	756
1946	15	34	63	34	85	22	82	83	90	34	23	16	581
1947	43	84	91	44	28	85	37	89	53	38	130	90	812
1948	43	28	26	10	64	44	63	84	54	52	40	19	527
1949	25	24	67	18	42	110	140	74	8	40	40	70	658
1950	12	37	29	22	83	102	60	144	64	38	91	28	706
1951	40	11	85	25	81	5	109	62	27	8	39	43	535
1952	59	64	45	17	52	57	155	72	48	157	128	42	896
1953	38	18	13	30	72	55	144	174	118	67	22	19	770
1954	25	8	38	30	46	69	63	44	91	70	34	39	557
1955	73	38	75	99	62	67	30	21	37	37	28	59	626
1956	70	29	28	52	100	88	60	118	28	50	39	36	698
1957	52	83	42	17	44	102	46	55	67	31	19	48	606
1958	61	57	36	48	53	131	39	93	48	80	22	49	712
1959	73	31	35	32	78	87	48	82	49	52	22	47	636
1960	71	55	16	12	78	44	48	123	69	97	44	43	700
1961	30	37	53	54	40	32	79	118	45	7	28	70	593
1962	40	43	37	35	112	74	110	122	43	65	49	37	767
1963	23	43	28	27	15	106	92	34	107	38	42	19	574
1964	16	45	23	28	94	26	26	42	30	23	48	62	461
1965	61	21	21	40	63	93	195	34	97	40	40	98	823
1966	59	97	88	40	48	50	101	86	79	33	44	85	810
1967	40	16	52	57	27	44	38	122	22	40	57	71	586
1968	50	38	28	44	47	21	158	92	40	94	28	38	678
1969	24	26	16	53	56	92	70	61	64	41	94	30	627
1970	78	58	55	104	18	85	39	32	68	127	48	41	753

Продолжение таблицы 6.3.2

1971	40	19	29	48	30	58	79	59	79	130	74	37	682
1972	4	4	35	53	80	63	16	47	87	58	53	29	529
1973	20	69	26	69	74	21	109	147	65	93	74	56	823
1974	21	36	29	24	83	78	118	37	18	80	79	48	651
1975	43	44	16	36	24	66	78	101	24	31	31	65	559
1976	52	20	40	61	143	130	128	58	25	67	48	82	854
1977	24	61	25	49	75	92	77	91	56	36	139	61	786
1978	26	32	43	24	56	72	92	50	72	72	60	29	628
1979	76	25	58	12	19	40	161	54	108	31	56	68	708
1980	31	26	21	36	90	116	103	134	49	36	47	59	748
1981	62	28	51	27	18	67	131	104	127	69	61	112	856
1982	65	9	15	63	56	68	108	96	62	59	62	63	724
1983	65	54	27	89	9	100	65	33	46	96	99	42	725
1984	32	2	23	11	57	128	122	49	129	53	28	43	678
1985	73	31	8	45	60	111	92	23	109	69	81	71	772
1986	76	26	7	103	8	140	87	126	77	65	34	40	787
1987	35	24	20	23	97	113	53	61	60	0	53	49	587
1988	20	73	37	28	38	96	74	107	38	29	56	81	676
1989	45	35	49	47	33	71	37	138	22	130	55	76	738
1990	57	67	73	26	48	61	115	94	117	85	86	17	845
1991	52	34	23	51	48	122	101	147	74	114	44	42	851
1992	54	38	41	36	38	31	18	50	51	144	59	22	581
1993	80	47	26	35	16	140	156	114	112	50	7	86	869
1994	73	18	52	11	57	94	48	79	49	71	62	46	662
1995	63	56	14	48	27	68	56	59	39	21	79	36	565
1996	19	31	17	17	48	90	73	25	124	29	54	28	555
1997	49	30	47	22	38	108	9	55	60	153	60	40	670
1998	43	38	61	60	92	61	134	145	50	71	55	44	854
1999	67	54	34	28	33	7	67	96	61	35	41	52	575
2000	40	56	42	28	22	138	148	90	48	30	45	87	773
2001	38	87	45	26	122	64	64	43	40	71	65	51	715
2002	44	47	29	16	20	52	31	24	72	133	38	36	540
2003	42	12	23	45	42	67	91	159	94	51	50	36	710
2004	79	49	28	36	54	116	138	72	88	76	61	56	852
2005	79	39	35	48	96	82	110	31	14	41	30	73	678
2006	25	35	43	44	64	66	23	140	52	52	54	33	631
2007	63	43	35	19	31	24	64	66	58	103	66	14	586
2008	27	56	52	47	62	67	136	124	66	54	48	53	792
2009	39	49	34	24	58	55	88	88	41	133	72	52	733
2010	17	60	23	27	56	54	8	57	61	42	77	81	563
2011	38	38	22	43	29	38	75	61	75	55	47	69	589
2012	54	36	57	49	68	99	50	77	47	138	85	47	806
2013	47	41	80	67	93	41	129	91	189	34	67	54	932
2014	41	20	16	25	58	82	9	64	37	33	19	56	461

2015	61	34	12	43	104	94	118	18	85	22	37	55	682
2016	78	60	46	32	55	52	108	152	62	57	95	43	683
2017	47	35	59	75	78	115	103	77	40	90	46	74	839
2018	58	56	30	38	44	54	85	20	76	54	16	49	579
2019	61	29	39	8	58	55	64	48	32	59	36	31	519
2020	50	41	48	25	163	201	181	40	67	53	41	28	936
2021	65	68	36	96	90	142	33	91	75	38	77	68	880
В среднем, 1912-2021	42	36	36	40	55	75	85	77	64	60	51	49	671

В колебаниях режима увлажнения, рассчитанным по суммам годовых осадков, как и по теплообеспеченности территории, также можно выделить закономерности: низкий уровень увлажнения в конце 19 начале 20 в. (1879-1920 гг.), с суммой осадков 383...704 мм; довольно бурный, но не устойчивой рост осадков в 30-40 и особенно 70-80-е годы – до более чем 700...800 мм; падение режима увлажнения территории в конце 20 и начале 21 века до уровня 550-650 мм в отдельные годы, с существенными колебаниями сумм осадков в целом по годам за весь период многолетних наблюдений.

6.4. КЛИМАТИЧЕСКИЕ НОРМЫ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, РАССЧИТАННЫЕ ПО МНОГОЛЕТНИМ НАБЛЮДЕНИЯМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ В.А. МИХЕЛЬСОНА

В рамках научных исследований при изучении влияния агрометеорологических факторов на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур, а также для объективной оценки текущих погодных условий теплого и холодного сезонов важно иметь рассчитанную и рекомендованную для данной территории климатическую норму. Под понятием «норма» в статистике понимается средняя величина за определенный временной многолетний интервал, как правило, это

тридцатилетний период наблюдений, по всему ряду какого-то показателя в данной местности. В климатологии чаще всего это средняя многолетняя величина: среднее месячное или годовое количество осадков; средняя суточная, месячная, годовая температура. Это могут быть также крайние (экстремальные) значения метеорологических параметров.

Многочисленные исследования, проведённые в мире и теоретические заключения прикладной математической статистики и теории вероятностей констатируют, что 30-летние ряды наблюдений могут считаться достаточными для необходимых агрометеорологических расчётов (World Metrological organization 2003; 2017). Поэтому следует считать ряд наблюдений за последние 30-40 лет объективным для получения показателей температуры воздуха, так как предыдущие годы наблюдений могут занижать расчётные нормативные значения.

Базовой научной климатической нормой метеоэлементов считаются средние величины, рассчитанные за промежуток времени с 1961 по 1990 гг., который был утверждён на 16-й сессии Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) в 2014 году. Это основной период, с которым в климатологии и в других родственных научных направлениях сравнивают текущие климатические изменения для оценки долгосрочных колебаний климата и выявления наблюдаемых тенденций его изменений.

По многолетним наблюдениям метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА, получена осредненная климатическая величина основных метеорологических факторов. Она рассчитана по рекомендациям ВМО и принята как базовая, с тем же периодом осреднения за 30 лет.

В рамках решения прикладных задач, при подготовке справочной информации ВМО рекомендовано действовать более оперативно и использовать средние многолетние метеорологические данные, которые рассчитываются за весь период наблюдений и обновляются ежегодно. В связи с быстро меняющейся климатической обстановкой на плане в

результате глобального потепления и нарушения в динамике атмосферных процессов, возникла необходимость принятия новой климатической нормы с тем же периодом осреднения основных метеорологических показателей с 1991 по 2020 гг. Этот период позволяет оперативно оценить текущие изменения погодных условий и определить, насколько отклонялись метеорологические условия в период проведения полевых опытов от средних многолетних значений. Климатические нормы доступны

В качестве примера анализа основных метеорологических величин можно привести оценку среднемесячной температуры воздуха, как одного из основных показателей характеризующих теплообеспеченность данной территории и определяющих условия роста и развития сельскохозяйственных растений. Если среднее отклонение холодного периода года от многолетних значений температуры воздуха за месяц не превышает 1°C , то месяц считается в пределах нормы. Месяц называют холодным, если отклонение по модулю больше 1 и меньше 4°C . Если отклонение по модулю больше 4°C , то месяц считается очень холодным. Для теплого сезона величины и последовательность оценки температуры воздуха та же. Подобная схема применима в аналитической работе и для других метеорологических показателей.

Сравнительный анализ двух официально осредненных периодов по температуре и осадкам, климатических норм базовой за период 1961-1990 гг. и последней оперативной – 1991-2020 гг., показывает рост среднегодовой температуры приземного слоя воздуха последнего 30-летнего периода наблюдений почти на $1,5^{\circ}\text{C}$. При этом важно подчеркнуть, что количество выпавших атмосферных осадков практически не изменилось. Это очередной раз подтверждает процесс существенного потепления климата в Центральном Нечерноземье РФ за последние десятилетия в результате потепления.

Принимая во внимание наличие тепловых антропогенных выбросов над г. Москвой и формирование так называемого «острова тепла», следует

осторожно применять полученные результаты и динамику изменений основных факторов климата при характеристике внешних условий не только по всей Нечерноземной зоне, но и Центральному Нечерноземью. Однако выявленные, по данным обсерватории им В.А. Михельсона РГАУ-МСХА, основные тенденции колебаний и изменений климатических условий характерны и для временных рядов Михайловского агрометпоста «Голохвастово», расположенного в 60-ти километрах от Москвы. Они подтверждают ту же устойчивую тенденцию к изменению климата в регионе, что и результаты обсерватории. Отмечается общий рост температуры для этой территории на $1,5^{\circ}\text{C}$. Анализ показывает, что основной вклад в повышение температуры вносят теплые зимы, со значительным ее ростом, также в центральные зимние месяцы (Белолобцев, 2010; 2011).

Средняя температура приземного слоя воздуха в холодный сезон возрастает до $-5,4^{\circ}\text{C}$ (при норме $-7,7$), или на $2,3^{\circ}\text{C}$. Однако тренд, характеризующий устойчивость ее повышения, статистически не значим ($R^2 = 0,12$), что говорит о значительных колебаниях и изменениях изучаемого элемента. Наиболее заметная трансформация термического режима происходит в 1990-2005 гг., особенно по отдельным месяцам. В январе значения температуры воздуха превышают среднемноголетние на $4,6$, в феврале – на $3,0$ и в марте – на $3,1^{\circ}\text{C}$, при общем росте температуры за период на $2,6^{\circ}\text{C}$. Это на $0,7^{\circ}\text{C}$ теплее, чем за первый десятилетний срок наблюдений.

Наглядное представление об устойчивости холодных периодов последних десятилетий дает анализ сумм отрицательных среднесуточных температур воздуха (табл. 6.4.1). За период с 1990-2005 гг. отмечается заметное перераспределение тепла в пределах холодного сезона. При возрастании контрастности температур и некотором похолодании в начале периода (ноябрь) наблюдается существенное смягчение температурного режима в центральные зимние месяцы, особенно в феврале – почти на 10°C по сравнению с климатической нормой и на 74°C – к 1980-м гг.

**Сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха
холодного периода, °С
(агрометпост «Голохвастово»)**

Период, гг.	Месяц					Сумма за период
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	
Многолетняя средняя	-85	-251	-331	-311	-173	-1151
1980-1990	-118	-192	-246	-287	-114	-957
1990-2005	-133	-202	-199	-213	-129	-876
Откл (±) 1990-2005 к 1980-1990	-15	-10	47	74	15	81

Но, пожалуй, одним из наиболее надежных показателей, характеризующих устойчивость холодных периодов последних десятилетий, является число дней с температурой выше 0°С (рис.6.4.1).

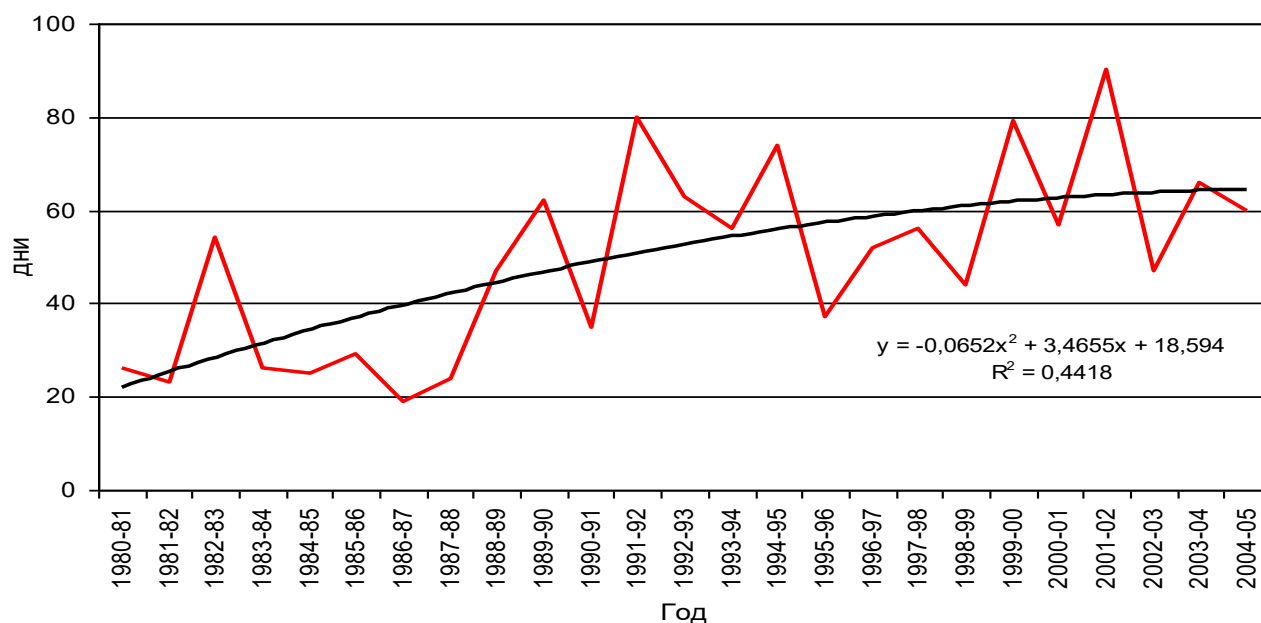


Рисунок 6.4.1 – Тренд количества дней холодных периодов с температурой выше 0°С

Факт присутствия длительно-однонаправленных изменений этого показателя за последние годы не подвергается сомнению ($R^2 = 0,44$). При этом сохраняется и общая закономерность распределения количества дней с температурой выше 0°С в пределах изучаемого периода. Если в 80-е годы

число таких дней соответствует климатической норме (34), то в 1990-2005 гг. их рост в среднем составил 76%. Количество интенсивных оттепелей в зимний период с температурой выше 2,5°C, т.е. наиболее опасных для формирования негативных свойств почвы и условий перезимовки с.х. культур, выросло более чем в 2 раза.

Термическая активность и повторяемость осадкообразующих процессов формируют максимальные осадки за соответствующий календарный период. Для образования устойчивого снежного покрова важное значение имеет выпадение твердых осадков и наличие низких отрицательных температур воздуха. Чем ниже температура, тем меньше нужно осадков, чтобы поддерживать непрерывное снегонакопление.

Важными результатами многолетних научных исследований являются и закономерности в распределении и накоплении снежного покрова, а также изменении его характеристик в зависимости от рельефа и наличия растительности при потеплении зим. Высота снежного покрова в условиях открытой местности на склонах южной экспозиции снижается по сравнению с подобными показателям в лесном массиве (поляна в лесу) на 10-14 см, или 23...32 %, а запасы воды в снеге – на 17,2 мм, или 16 %. Эти наблюдения дают представление об интенсивности и направленности вещественно-энергетических потоков в рамках склоновых агроландшафтов (рис.6.4.2)

Потепление холодных сезонов способствуют сокращению общих запасов снега и воды в нем, повышению влажности почвы и формированию ледяной корки, снижению глубины и повышению степени промерзания пахотного слоя – факторов, потенциально определяющих эрозионную опасность склоновых агроландшафтов и масштабы развития процессов эрозии.

Процесс потепления зимних периодов, т.е. устойчивого преобладания повторяемости теплых зимних сезонов над повторяемостью холодных усиливается в конце 1980-х и, особенно с начала 1990-х гг. Повышение приземных температур воздуха как среднегодовых, так и холодной половины

года в последние десятилетия обусловили аномалии снежности большинства лет. При этом важно отметить, что если в 1980-е годы прослеживается устойчивая связь между температурой воздуха и суммами осадков ($r = 0,81$), то с начала 1990-х гг. эта связь практически отсутствует ($r = 0,12$).

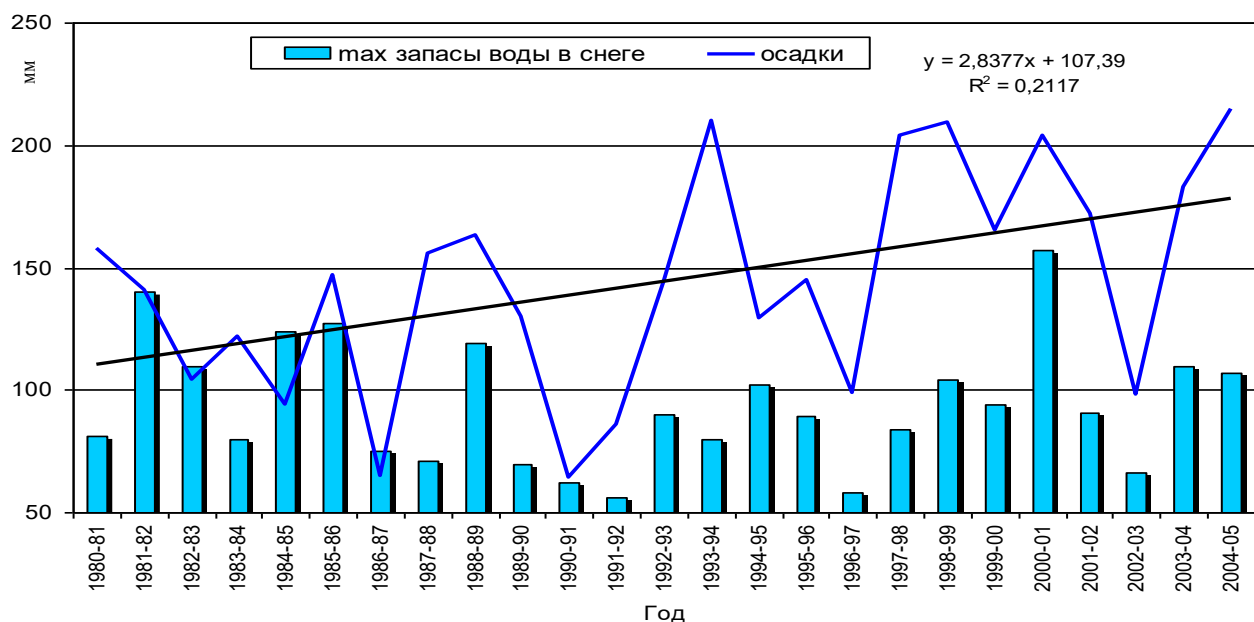


Рисунок 6.4.2 – Динамика изменений количества осадков и запасов воды в снеге в зимний период, 1980-2005 гг.

Таким образом, необходимость использования климатической нормы в проведении научных исследований и для объективной интерпретации их результатов не подлежит сомнению. Только на основании сравнительной оценки со среднемноголетними значениями можно определить степень соответствия текущих показателей среды обитания растений условиям, к которым они адаптированы. Оценить, в какой степени, складывающиеся агрометеорологические показатели и их сочетания в период вегетации или отдельных его подпериодов были оптимизированы для роста и развития растений или, напротив, не соответствовали им. Это позволит установить причинно-следственные связи между природными условиями и продукционным процессом, а также определить закономерности в его динамике в зависимости от условий произрастания растений.

6.5. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЛАНДШАФТОВ

На фоне существенного изменения основных факторов климата Нечерноземной зоны возрастает и его экстремальность (табл. 6.5.1). Так, за последний 40-летний период прошлого века в рамках холодного сезона чаще наблюдаются случаи наступления экстремально максимальных температур за сутки (число случаев 98), существенно превышающие прежние пределы. А наиболее низкие температуры по-прежнему сосредоточены в первом 40-летнем периоде (104). Это же характерно и для теплого времени года. Наиболее показательным в этом плане стал 2010 год, где только за летний сезон было зарегистрировано более 20 температурных рекордов (Белолубцев, 2011).

Таблица 6.5.1

Повторяемость лет с экстремальными значениями температуры воздуха (обсерватория имени В.А. Михельсона, РГАУ – МСХА)

Период, гг.	Холодный период (ноябрь–март)		Теплый период (апрель–октябрь)		Год	
	Число случаев	%	Число случаев	%	Число случаев	%
<i>Максимальная температура</i>						
1879-1918	19	13	62	29	81	22
1919-1958	34	22	69	32	103	28
1959-1998	98	65	83	39	181	50
<i>Минимальная температура</i>						
1879-1918	104	69	164	78	268	73
1919-1958	39	26	37	17	76	21
1959-1998	8	5	13	5	21	6

Для того чтобы оценить степень влияния экстремальных условий по радиационному, тепловому и/или водному режиму на состояние почвы и

продуктивность растений необходим, как известно, дифференцированный агрометеорологический подход. Для примера рассмотрим заведомо экстремальный по погодным условиям 2010 год, когда сформировались чрезвычайно сложные по метеорологическим параметрам условия в период вегетации. За последние десятилетия он был самым не урожайным, когда на большей части Европейской территории России наблюдалась сильнейшая за последние 140 лет засуха. По данным Минсельхоза России в этот год было собрано чуть более 60 млн. т. зерна. Недобор урожая яровых зерновых культур по сравнению с предшествующим периодом составил 5-8 ц/га, или 30-50% от обычной урожайности. Валовой сбор зерна озимой пшеницы снизился почти на 33%, а по озимой ржи более чем на 60%.

Об условиях увлажнения территории Центрального Нечерноземья за последние десятилетия можно судить по данным обсерватории имени В.А. Михельсона (табл. 6.5.2).

Таблица 6.5.2

**Гидротермический коэффициент, 1991-2020 гг.
(обсерватория имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)**

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сумма (май-август)		ГТК
					температур	осадков	
Средняя 1991-2020 гг	1,50	1,53	1,40	1,46	2025	288	1,44
Средняя 1881-1980 гг	1,45	1,42	1,44	1,52	1955	285	1,46

Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова за основной период вегетации культур (май-август), представляющий собой отношение осадков (175,3 мм) к испаряемости (262,0), в 2010 году составил 0,67, что достоверным образом характеризует засуху в этом году. Приведем ее определение по ГОСТу (70-е годы XX века): «засуха это сочетание такого недостатка осадков и повышенной испаряемости, которое при отсутствии необходимого уровня агротехники вызывает несоответствие между

потребностью растений во влаге и ее поступлением из почвы, в результате чего снижается урожай». Это несоответствие острейшим образом сложилось в июле 2010 г. Гидротермический коэффициент составил 0,10, что характерно для чрезвычайно засушливых условий, типичных для южных территорий с высокой испаряемостью (рис. 6.5.1). С третьей декады июня по первую декаду августа (5 декад подряд) сумма осадков составила всего лишь 8,9 мм, а рассчитанный ГТК за этот период, соответственно – 0,06. Такие условия увлажнения свидетельствуют о жесточайшей засухе, по своим значениям соответствующей пустыне. При этом количество тепла ($\sum t > 10^{\circ}\text{C}$) за основной вегетационный цикл (май-август) достигло 2620 $^{\circ}\text{C}$. Подобной теплообеспеченности на данной территории не отмечалось за всю более чем 140-ти летнюю историю непрерывных метеонаблюдений обсерватории.

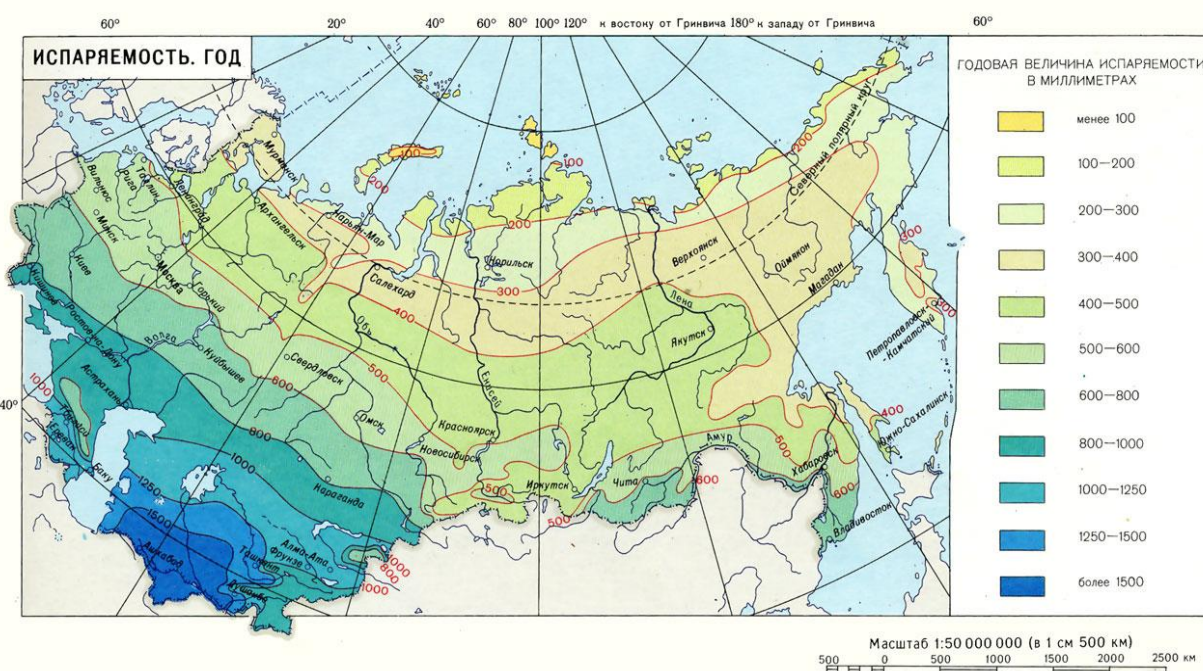


Рисунок 6.5.1 – Карта годовой величины испаряемости на территории России, мм

Сравнивая данные последних 30-летних метеорологических наблюдений обсерватории В.А. Михельсона со 100-летними данными (1881-1980 гг.), характеризующих условия увлажнения территории района Петровско-Разумовское г. Москвы, следует отметить практически

неизменный режим увлажнения за основной период вегетации в целом. Тем не менее, отмечается крайне неустойчивый характер осадков по годам и общая тенденция к ухудшению режима увлажнения за последние месяцы (июль, август) активной вегетации растений.

На фоне умеренной теплообеспеченности, где $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$ составила 2029 $^{\circ}\text{C}$, рекордным за всю 140-летнюю историю метеорологических наблюдений обсерватории по условиям увлажнения стал 2020 год, когда за период май-август выпало 584 мм осадков. При этом ГТК Селянинова составил 2,9, что характеризуется как избыточное увлажнение для данной территории.

В качестве примера неблагоприятного влияния климата на устойчивость агроландшафтов в последние десятилетия, можно привести результаты научных исследований, выполненных в 1981-2009 гг. в стационарном полевом опыте. Опыт заложен в производственных условиях в Московской области на двух смежных склонах южной экспозиции, где были проведены комплексные полевые наблюдения за экологическими изменениями эрозионно-опасных агроландшафтов. Такие локально нарушенные экосистемы, находящиеся в состоянии постоянного стресса, представляют особый интерес для изучения. Они экологически уязвимы и достаточно отзывчивы для неблагоприятных природных воздействий, что позволяет получить наиболее полное представление о влиянии и последствиях современных трансформаций климата (Белолубцев и др., 1997).

Согласно полученным данным, современный климат и его составляющие оказывает негативное воздействие на физико-механические свойства эродированной почвы и ее структурное состояние. В условиях теплых зим из-за переувлажнения и высокой степени цементации льдом пахотного слоя нарушаются процессы зимнего разуплотнения. В результате почва не достигает равновесного состояния. Следствием этого является значительная усадка грунта после оттаивания весной и общее повышение плотности почвы. Отрицательное влияние на ее агрофизическое состояние

оказывает и нарастание засушливости периода вегетации. Иссущение эродированной почвы резко повышает плотность ее сложения.

Слабое промораживание почвы в условиях неустойчивых зимних периодов не способствует и эффективному образованию структуры. Напротив, происходит ее активное физико-химическое разрушение, особенно верхнего слоя, где коэффициент структурности почвы снизился в среднем на 30%. Уменьшение агрономически ценных агрегатов происходит в основном за счет их укрупнения до глыбистых размеров, что свидетельствует о значительном нарушении процессов структурообразования.

В частности, динамика плотности почвы складывается отрицательной. Ее величина могла достигать 1,6 и выше, что явно не соответствует требуемым параметрам роста и развития растений. Причина – нарушение процессов зимнего разуплотнения. Почва в условиях теплых зим не достигает равновесного состояния. Более того, при отсутствии или слабом ее промерзании происходит дополнительная усадка грунта.

Обеспокоенность вызывает устойчивая динамика ухудшения и структурного состояния почв, Коэффициент структурности снизился почти на 30% к исходному его состоянию. Причем установлена закономерность: чем ниже плодородие почв, тем больше ее уязвимость к неблагоприятному воздействию факторов внешней среды.

Результаты почти 30-летних исследований в производственных условиях позволяют утверждать, что современные изменения климата приводят к необратимым экологическим изменениям важнейших свойств, функций и режимов эродированных почв. Они способствуют переорганизации пахотного горизонта (слой 0-40 см) и ухудшению его агрофизической основы: повышению на 5...12 % плотности сложения и на 20...22 % твердости почвы, снижению на 10...19 % количества агрономически ценной макроструктуры и ослаблению на 9...13 % водопрочности почвенных агрегатов, а также общей тенденции на обесструктуривание (Белолобцев, 2011; Belolyubtsev, 2009).

Следовательно, обобщая результаты длительных наблюдений метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона и наблюдений агрометпоста «Голохвастово», можно с уверенностью констатировать, что в конце XX и начале XXI в.в. произошли заметные изменения климата Центральных областей Нечерноземной зоны в сторону потепления, особенно существенно в зимний период последних тридцати лет. Изменения в температурном режиме и режиме осадков привели к важным для сельского хозяйства последствиям:

увеличилась продолжительность вегетационного периода;

значительно выросли суммы активных температур;

существенно повысилась экстремальность климата;

наблюдается тенденция роста засушливости периодов вегетации сельскохозяйственных культур и его подпериодов;

стали мягкими зимы с большим числом интенсивных оттепелей, что является важным фактором, определяющим условия перезимовки сельскохозяйственных культур и опасность развития почвенно-деградационных процессов.

6.6. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСТЕНИЕВОДСТВА В НОВЫХ ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

До последнего времени конечным результатом оценки агроклиматических ресурсов являлось их районирование, т.е. картографическое моделирование. При общем районировании использовались комплексные показатели тепло- и влагообеспеченности территории, а затем при частном районировании – климатические факторы продуктивности культур. Такая форма представления результатов позволяет сравнить агроресурсы различных территорий.

В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства, возможность возделывания той или иной культуры в каждом конкретном районе должна рассматриваться с точки зрения экономической целесообразности и экологической адаптивности. С этих позиций принятие оптимальных хозяйственных решений уже не может базироваться только на данных об отдельных составляющих климата. Поэтому в агрометеорологии развиваются методы оценки агроклиматических ресурсов с помощью унифицированных физико-статистических моделей продуктивности агроценозов. Они позволяют на единой основе оценивать ресурсы возделывания некоторого набора культур и тем самым осуществлять комплексное районирование культур вплоть до распределения посевных площадей под ними.

Теоретической основой этого направления послужило дальнейшее развитие известной в экологии растений концепции, в соответствии с которой нормальный их рост и развитие обеспечены в тех случаях, когда жизненные циклы растений попадают в периоды, благоприятные по погодным условиям для прохождения именно этих фаз развития. Такие периоды в силу стохастического характера гидрометеорологических элементов чередуются с неблагоприятными периодами, тормозящими развитие растений, а иногда приводящими к их гибели. Задача земледельца заключается в выявлении для каждой культуры таких неблагоприятных периодов, определении их вероятностных характеристик, степени снижения урожайности и в итоге – в определении климатически обеспеченной урожайности.

Соответствие требований растений к основным факторам жизни и физическим параметрам среды определяют устойчивое функционирование любых агроландшафтов. При этом адаптивные возможности видов и сортов играют исключительную роль. Они неодинаковы на этапах роста и развития растений.

В онтогенезе выделяют «критические периоды» у различных сельскохозяйственных культур, когда растения наиболее чувствительны к внешним факторам:

Культура:

Озимая пшеница и рожь
Яровая пшеница, ячмень, овес
Кукуруза
Просо и сорго
Подсолнечник
Картофель

Критический период:

Трубкавание - колошение
Трубкавание - колошение
Цветение-молочная спелость
Выметывание метелки - налив
Образование корзинки - цветение
Цветение-формирование клубней

Оценка агроклиматических ресурсов не является самоцелью. В практической деятельности гораздо большую ценность рекомендации по рациональному использованию имеющегося природного потенциала. При планировании и организации сельскохозяйственного производства необходимо ориентироваться на вероятность возникновения климатических рисков в будущем, т.е. на их повторяемость. Поэтому сев разумно проводить в такие сроки, которые обеспечат наибольшую возможность совпадения критических периодов в развитии растений с благоприятными природными условиями.

В этом плане существенно возрастает актуальность агрометеорологических прогнозов. Они должны базироваться на принципах выявления благоприятных периодов в природе и выработки на этой основе таких производственных решений, которые позволили бы сельскохозяйственным растениям согласовывать с ними свои жизненные циклы (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984)

В последние годы в отечественной и зарубежной литературе большое внимание уделяется изучению влияния возможных или ожидаемых колебаний климата на продуктивность сельскохозяйственных культур. Для расчета климатически обеспеченной урожайности необходимо оценить потери урожая каждой сельскохозяйственной культуры из-за неблагоприятных условий погоды и дать им вероятностную интерпретацию.

Исходными данными для таких расчетов послужили материалы сопряженных наблюдений за параметрами внешней среды и фенологией сельскохозяйственных культур за период с 1946 по 1990 г., а также сведения по урожайности культур за этот же период. Результаты расчетов показали, что на начало 1990-х гг. основные сельскохозяйственные культуры в различных регионах России подвергались воздействию следующих наиболее часто отмечавшихся неблагоприятных погодных ситуаций:

- вымерзание и выпревание озимых культур и многолетних трав в период зимовки;
- весенние заморозки;
- засуха в различные периоды вегетации культур;
- возврат холодов в теплый период года и переувлажнение, вызывающее полегание посевов;
- неблагоприятные условия уборки.

В таблице 6.6.1 приведены обобщенные оценки потерь урожайности на территории Нечерноземной зоны и их вероятностные характеристики.

Для сельского хозяйства, перечень социально-экономического ущерба, вызываемого климатическими изменениями, представляется следующими показателями:

- потери плодородия почв за счет эрозии и дефляции;
- уплотнение, минеральное голодание, засоление и загрязнение почв;
- перестройка почвенной биоты,
- снижение продуктивности земель;
- рост числа засушливых явлений (засух, суховеев);
- опустынивание и снижение биологической продуктивности в аридном поясе;
- увеличение паводков и наводнений в регионах с избыточным увлажнением;
- изменение состава возбудителей болезней и сорняков, а также их активное распространение и миграция;

снижение продуктивности домашних животных.

Таблица 6.6.1

Вероятность (*P*,%) снижения урожайности сельскохозяйственных культур из-за погодных аномалий и средние потери урожая (*C*, т/га) на территории Нечерноземной зоны.

Область	Культура											
	Озимая пшеница		Озимая рожь		Яровая пшеница		Овес		Ячмень		Гречиха	
	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>
Брянская	50	0,22	47	0,17	65	0,39	56	0,41	59	0,37	67	0,33
Владимирская	65	0,46	65	0,28	62	0,43	59	0,36	62	0,38	61	0,37
Ивановская	74	0,30	79	0,26	59	0,32	62	0,47	56	0,53	39	0,36
Тверская	50	0,39	50	0,34	66	0,22	66	0,30	66	0,37	50	0,32
Калужская	55	0,33	38	0,21	71	0,26	71	0,31	68	0,31	72	0,29
Костромская	68	0,37	79	0,26	71	0,30	68	0,43	71	0,45	82	0,25
Московская	61	0,34	59	0,34	44	0,59	47	0,57	47	0,46	62	0,45
Орловская	58	0,47	50	0,31	50	0,20	71	0,50	71	0,47	77	0,44
Рязанская	44	0,40	50	0,31	50	0,20	53	0,28	53	0,32	61	0,32
Смоленская	32	0,25	68	0,16	62	0,22	56	0,26	56	0,37	64	0,22
Тульская	71	0,43	65	0,32	56	0,26	59	0,44	59	0,24	58	0,46
Ярославская	79	0,42	76	0,33	59	0,30	68	0,39	62	0,42	86	0,20

Совершенно очевидно, что перечисленные выше риски и угрозы требуют разработки новой концепции адаптации сельского хозяйства к изменениям климата, с привлечением всех заинтересованных сторон.

Предложенная концепция оценки агроклиматических ресурсов продуктивности сельскохозяйственных культур, базирующаяся на определении климатически обеспеченной урожайности, существенно дополняет современную теорию количественной оценки продукционного процесса агроландшафтов, особенно в новых экологических условиях их функционирования.

Таким образом, особую актуальность для обеспечения продовольственной безопасности приобретает рациональная хозяйственная деятельность, прогнозирование и предупреждение современных

неблагоприятных природных и антропогенных воздействий на устойчивость агроландшафтов. Стратегия и тактика такой деятельности предполагает знание природных условий и ее потенциала, особенностей и механизма воздействия на продукционные процессы изменений погоды и климата, их проявления и роли в системе «почва-растение-атмосфера». В свою очередь, эффективное использование сложившегося природно-ресурсного потенциала территории, регулирование влияния факторов внешней среды на агроландшафты и их экологические режимы невозможно без рационального применения современных агротехнологий, систем севооборотов, обработки почвы, удобрений и других мероприятий. Это позволит обеспечить требуемую производительную устойчивость агроландшафтов практически в любых почвенно-климатических условиях их функционирования или существенно снизить влияние опасных метеорологических факторов в условиях климатической неопределенности.

7. МИКРОБИОЛОГИЯ И ИММУНОЛОГИЯ

7.1. РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И БИОПРЕПАРАТЫ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА

Симбиотическая азотфиксация остается одной из наиболее актуальных и фундаментальных проблем современной науки, имеющая большое практическое значение, поскольку перспективы её решения тесным образом связаны с такими важными вопросами, как полноценное питание людей, экологический и энергетический кризис. Практическое использование симбиотической азотфиксации осуществляется путем бактеризации бобовых культур соответствующими препаратами высокоэффективных и конкурентоспособных клеток клубеньковых бактерий. В последнее время для повышения эффективности бобово-ризобиального симбиоза используют различные биопрепараты и регуляторы роста. Перспективность данного приема связана с возможностью оказывать влияние на гормональный баланс растения, что приводит к изменению метаболических процессов в растении и как следствие - изменение азотфиксирующей активности и продуктивности растений. В работе изучали влияние биопрепарата Ризоторфин и регуляторов роста Альбит, Корневин, Эпин-Экстра на гормональный статус и азотфиксирующую активность растений гороха, фасоли и сои разных сортов. Содержание фитогормонов – ИУК, зеатина, ГК, АБК определяли методом ВЭЖХ (Скоробогатова и др., 1999). Азотфиксирующую активность определяли по массе и количеству клубеньков и активности в них нитрогеназы. Нитрогеназную активность определяли методом редукции ацетилена в модификации В.П. Орлова (Орлов и др., 1984). При отборе проб для учета числа клубеньков на корнях растений использовали метод монолитов (Посыпанов, 1991). Статистическая обработка осуществлялась

методами корреляционного и дисперсионного анализа по Доспехову Б.А. (1985) с использованием программы Statistica for Microsoft Windows.

Обработка бобовых культур регуляторами роста и Ризоторфином приводила к изменению содержания и соотношения гормонов. При воздействии на растения препаратами в них изменяется содержание и соотношение эндогенных гормонов. В растениях гороха Норд при обработке Альбитом в фазе бутонизации-начала цветения на фоне инокуляции Ризоторфином содержание ауксинов не изменялось в листьях и стеблях, но снижалось в корнях с клубеньками на 25% по сравнению с растениями, обработанными Ризоторфином. Содержание зеатина повышалось в стеблях в 2 раза и снижалось в листьях и в корнях с клубеньками на 25% и 40% соответственно. Содержание ГК увеличивалось в листьях на 17,2%, в стеблях и в корнях с клубеньками почти в 2 раза (табл. 7.1.1).

У растений гороха сорта Мультик содержание ауксинов под влиянием Альбита на фоне инокуляции Ризоторфином повышалось в листьях, стеблях и корнях с клубеньками на 97,4%, 50,4% и 34% соответственно, по сравнению с растениями, обработанными только Ризоторфином. Содержание зеатина повышалось в стеблях (в 4 раза) снижалось в листьях на 25% и в корнях с клубеньками на 23%. При использовании Альбита и Ризоторфина отмечено существенное увеличение содержания ГК в листьях (почти в 3 раза) и снижение в стеблях на 25,86% и в корнях с клубеньками на 25,63%, по сравнению с растениями, обработанными только Ризоторфином (табл. 7.1.1). Отмеченные изменения в содержании фитогормонов и их перераспределение по органам растения оказали влияние на азотфиксацию. Так, повышение азотфиксирующей активности в клубеньках растений гороха сорта Мультик отмечено при обработке Альбитом на фоне инокуляции Ризоторфином, у сорта Норд наибольшая азотфиксирующая активность отмечена при обработке Ризоторфином (Волобуева, 2019). Ауксины влияют на распределение питательных веществ и воды, обладая аттрагирующим эффектом, регулируют дыхание и синтез АТФ, а цитокинины отвечают за

фотофосфорилирование, усиливают отток ассимилятов, влияют на азотный обмен (Кулаева, Прокопцева, 2004).

Таблица 7.1.1

Влияние Ризоторфина и Альбита на содержание фитогормонов в вегетативных органах растений гороха разных сортов в фазу бутонизации-начала цветения, нг/г сухой массы

Вариант	Органы растения	Фитогормоны			
		ИУК	Зеатин	ГК	АБК
Сорт Норд + Ризоторфин (контроль)	листья	26,5±0,01	450±0,3	1003±0,1	-
	стебли	26, 2±0,02	99,5±0,4	2000±0,3	34,4±0,01
	корни с клубеньками	53,0±0,03	6600±0,5	536±0,5	33,5±0,02
Сорт Норд + Альбит + Ризоторфин	листья	26,0±0,02	336±0,2	1180±0,1	-
	стебли	26,5±0,01	1980±0,7	460±0,2	34,0±0,01
	корни с клубеньками	39,8±0,03	3960±0,8	1040±0,3	34,8 ±0,02
Сорт Мультик + Ризоторфин (контроль)	листья	26,8±0,01	1320±0,5	457±0,2	-
	стебли	26,6±0,02	991±0,4	2000±0,5	35,0±0,03
	корни с клубеньками	39,7±0,01	4500±0,5	2420±0,4	34,6±0,01
Сорт Мультик + Альбит + Ризоторфин	листья	52,9±0,03	995±0,3	1800±0,3	33,9±0,01
	стебли	40,0±0,04	3970±0,7	1490±0,2	68,7±0,03
	корни с клубеньками	53,2±0,02	3470±0,5	1800±0,3	51,6±0,02

Примечание: Прочерк – содержание гормона ниже уровня, регистрируемого хроматографом

Гиббереллины, подобно ауксином, участвуют в разрастании завязи и образовании плодов. Гиббереллины способствуют не перераспределению питательных веществ, а общему их накоплению, отвечая за фотофосфорилирование. Возможно, поэтому происходило снижение азотфиксирующей активности клубеньков растений гороха сорта Норд под влиянием Альбита на фоне инокуляции Ризоторфином и повышение симбиотической активности у сорта Мультик под влиянием Альбита на фоне инокуляции Ризоторфином. Использование Альбита в сочетании с Ризоторфином приводило к изменению соотношения эндогенных фитогормонов в листьях, стеблях и корнях с клубеньками растений.

Отмечены сортовые особенности растений гороха по содержанию эндогенных фитогормонов, что свидетельствует об их влиянии на метаболизм растений (Волобуева и др., 2008).

Исследования по изучению влияния обработки семян растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница биопрепаратом Ризоторфин и регуляторами роста Альбит, Корневин и Эпин-Экстра на эндогенный уровень этих растений проводили в фазу бутонизации – цветения в условиях полевого опыта. Данные табл. 7.1.2 свидетельствуют о том, что на фоне Ризоторфина Альбит не оказал влияния на содержание ауксинов в листьях, стеблях растений фасоли сорта Гелиада и снизил его количество в корнях с клубеньками почти в 2 раза.

Корневин повышал содержание ауксинов в листьях (в 2,2 раза) и стеблях растений фасоли этого сорта и снижал в корнях с клубеньками (в 2,5 раза). Регулятор роста Эпин-Экстра повысил содержание ИУК в листьях, в стеблях в 2,3 раза и в корнях с клубеньками в 1,6 раза растений фасоли сорта Гелиада, по сравнению с контролем. У растений фасоли сорта Шоколадница Альбит и Корневин не оказали влияния на содержание ауксинов в листьях. Вместе с тем, Альбит повысил содержание ИУК в корнях с клубеньками в 1,5 раза. Содержание ИУК в листьях и в корнях с клубеньками при обработке Корневином было на уровне с контролем. Препарат Эпин-Экстра повысил содержание ИУК в листьях, в стеблях в 2,1 раза и в корнях с клубеньками в 1,6 раза растений фасоли сорта Шоколадница, по сравнению с контролем (табл.7.1.2). Обработка препаратом Эпин-Экстра повышала содержание ИУК во всех вегетативных органах фасоли обоих сортов, что подтверждает положение о синергизме brassinosteroidов и ауксинов (Волобуева, 2015). В отношении гиббереллинов отмечен аддитивный эффект – у растений фасоли сорта Шоколадница Эпин-Экстра увеличивал их содержание в листьях и корнях с клубеньками, у сорта Гелиада возрастало содержание зеатина в корнях с клубеньками. Однако если ауксины способствуют внедрению ризобий в корень, то цитокинины свою основную роль, очевидно, выполняют

уже в процессе формирования клубенька. Содержание зеатина в листьях растений фасоли сорта Гелиада повышалось под влиянием Альбита (почти в 2 раза) и Корневина (в 4,5 раза), в стеблях – снижалось под влиянием Альбита (почти в 2 раза) и Эпина-Экстра, не изменялось под влиянием Корневина и значительно повышалось в корнях с клубеньками под влиянием Альбита, Корневина и Эпина-Экстра (в 6,1; 7,5 и 4,2 раза соответственно).

Таблица 7.1.2

Влияние Ризоторфина и регуляторов роста на содержание фитогормонов в органах растений фасоли разных сортов, нг/г сырой массы

Вариант	Органы растений	Фитогормоны			
		ИУК	Зеатин	ГК	АБК
Ризоторфин (контроль)	листья	5,3	116	6,9	10,3
		5,7	272	4,7	10,3
	стебли	-	275	13,2	3,4
		-	450	4,8	6,9
	корни с клубеньками	13,3	31	21,1	20,6
		13,2	217	4,8	10,3
Альбит	листья	5,3	211	10	24,1
		5,3	16,7	-	10,3
	стебли	-	117	16,3	3,5
		-	62	-	3,5
	корни с клубеньками	6,4	189	6,9	10,4
		20,1	39	-	3,5
Корневин	листья	11,7	527	-	22
		5,3	223	-	13,8
	стебли	5,3	275	15,1	-
		-	388	30,4	6,9
	корни с клубеньками	5,3	232	-	8,6
		13,2	109	28,8	6,9
Эпин-Экстра	листья	11,9	77,5	4,8	-
		12,2	260,4	14,9	-
	стебли	5,3	139,5	5,9	-
		5,4	313,9	4,7	-
	корни с клубеньками	21,2	130,2	3,8	-
		21,2	93	21,1	3,5

Примечание: верхняя строка - сорт Гелиада, нижняя – сорт Шоколадница; прочерк – содержание гормона ниже уровня чувствительности хроматографа

У растений фасоли сорта Шоколадница содержание зеатина в листьях, стеблях и корнях с клубеньками снижалось под влиянием Альбита, Корневина и Эпина-Экстра и было высоким при обработке Ризоторфином (табл. 7.1.2). Содержание ГК в листьях и стеблях растений фасоли сорта Гелиада под влиянием Альбита повышалось и снижалось под влиянием Эпин-Экстра. В корнях с клубеньками у растений этого сорта содержание ГК снижалось под влиянием Альбита, Корневина и Эпин-Экстра (в 3,2; в 6,3 и 5,8 раза соответственно) по сравнению с контролем. У растений фасоли сорта Шоколадница содержание ГК снижалось в листьях и стеблях под влиянием Альбита, под влиянием Корневина – в листьях и значительно увеличивалось в стеблях. Под влиянием Эпин-Экстра содержание ГК не изменялось в стеблях и увеличивалось в листьях (в 3,1 раза). В корнях с клубеньками растений этого сорта содержание ГК возрастало под влиянием всех испытуемых препаратов – Альбита, Корневина, Эпин-Экстра (в 3,2; 6,1 и 4,5 раза соответственно) (табл. 7.1.2). Содержание АБК повышалось под влиянием Альбита (в 2,1 раза) у растений обоих сортов и снижалось в листьях обоих сортов под влиянием Эпин-Экстра (Волобуева, 2020). У растений сорта Гелиада содержание АБК в стеблях не изменялось под влиянием Альбита и снижалось под влиянием Корневина и Эпин-Экстра. У сорта Шоколадница содержание АБК в стеблях снижалось под влиянием Альбита и Эпин-Экстра и не изменялось под влиянием Корневина. Содержание АБК уменьшалось в корнях с клубеньками растений фасоли обоих сортов под влиянием Альбита, Корневина и Эпин-Экстра, по сравнению с контролем (табл. 7.1.2). Таким образом, растения фасоли сортов Гелиада и Шоколадница в полевых условиях проявили разную чувствительность к обработке регуляторами роста и биопрепаратом. По-видимому, это оказало влияние на их азотфиксирующую активность. Так, наивысшие показатели нитрогеназной активности в клубеньках фасоли сорта Гелиада отмечены при обработке Эпином-Экстра на фоне инокуляции Ризоторфином (когда происходило повышение ИУК во всех вегетативных

органах), у сорта Шоколадница – при обработке Ризоторфином, на фоне повышения зеатина во всех вегетативных органах (Волобуева и др., 2016; Волобуева, Скоробогатова, 2010).

Анализ содержания фитогормонов в вегетативных органах растений сои разных сортов при обработке Ризоторфином и Эпином-Экстра показал следующее: у растений сои сорта Магева содержание ауксинов в листьях при обработке Эпином-Экстра на фоне инокуляции Ризоторфином было на уровне контроля и снижалось в стеблях и корнях с клубеньками. Содержание зеатина при обработке Эпином-Экстра снижалось в листьях, стеблях и корнях с клубеньками. Содержание ГК в листьях под влиянием Эпина-Экстра не изменялось и уменьшалось в стеблях и корнях с клубеньками.

Содержание АБК под влиянием Эпина-Экстра значительно возрастало в листьях (в 5 раз) против контроля и снижалось в стеблях и корнях с клубеньками (табл. 7.1.3).

У растений сои сорта Свапа содержание ауксинов под влиянием Эпина-Экстра на фоне инокуляции Ризоторфином снижалось в листьях, не изменялось в стеблях и значительно возрастало в корнях с клубеньками (в 2,5 раза) против контроля. Вероятно, это было связано с тем, что сами клубеньковые бактерии активно участвуют в синтезе ИУК. Ауксины ризобий в дополнение к ауксинами растений изменяют ритм клеточного деления. Существенная функция этого соединения связана в значительной степени с его способностью при локальном повышении содержания, вызывать приток и перераспределение пластических веществ, необходимых для осуществления интенсивного нарастания ткани. Ауксин, содержащийся в корнях, является как продуктом собственного синтеза, так и результатом притока из надземной части растений. Ауксины синтезируются в меристеме точек роста стебля и корня. Поэтому, можно полагать, что часть ИУК транспортировалась из стеблей в корни (Волобуева, 2015).

Влияние Ризоторфина и Эпин-Экстра на содержание фитогормонов в органах растений сои разных сортов в фазу бутонизации-начала цветения, нг/г сухой массы

Вариант	Органы растения	Фитогормоны			
		ИУК	Зеатин	ГК	АБК
Сорт Магева+ Ризоторфин (контроль)	листья	23,2±0,01	1107±0,2	40±0,05	51±0,1
	стебли	23,2±0,01	790±0,5	171±0,1	153±0,2
	корни с клубеньками	69,6±0,02	553±0,4	275±0,2	304±0,5
Сорт Магева + Эпин-Экстра+ Ризоторфин	листья	23,4±0,01	869±0,1	40±0,1	153±0,2
	стебли	11,7±0,02	632±0,3	102±0,2	102±0,3
	корни с клубеньками	26,1±0,01	296±0,2	30±0,3	191 ±0,6
Сорт Свапа + Ризоторфин (контроль)	листья	23,3±0,01	237±0,1	40±0,04	153±0,2
	стебли	11,6±0,02	395±0,3	40±0,4	102±0,3
	корни с клубеньками	17,4±0,01	889±0,4	128±0,4	77±0,7
Сорт Свапа + Эпин-Экстра + Ризоторфин	листья	11,5±0,03	711±0,1	175±0,2	254±0,4
	стебли	11,7±0,01	474±0,3	102±0,5	153±0,5
	корни с клубеньками	41,7±0,02	379±0,5	239±0,6	61±0,2

Содержание зеатина под влиянием Эпина-Экстра на фоне инокуляции Ризоторфином значительно возросло в листьях (в 3раза) и в стеблях (в 1,2 раза) и снижалось в корнях с клубеньками (в 2,4 раза) против контроля. Содержание ГК значительно возросло при обработке Эпином-Экстра на фоне инокуляции Ризоторфином в листьях (в 4,4 раза), стеблях (в 2,6 раза) и в корнях с клубеньками (в 1,9 раза) по сравнению с контролем. Гиббереллины, в отличие от ауксинов и цитокининов, в меньшей степени дезорганизуют деятельность меристемы, хотя и усиливают митотическую активность. Обычно гиббереллины способствуют увеличению количества эндогенных ауксинов в растениях, под влиянием ГК также усиливается синтез белка и действие цитокининов. Гиббереллины стимулируют удлинение побегов, но оказывают очень слабое влияние или совсем не влияют на рост корней. Содержание АБК под влиянием Эпина-Экстра

возрастало в листьях и стеблях на 66% и 50% (соответственно) и уменьшалось в корнях с клубеньками против контроля (табл. 7.1.3) (Волобуева, Белопухов, 2013).

Растения сои разных сортов проявили разную чувствительность к действию регулятора роста Эпин-Экстра и биопрепарата Ризоторфин. Наиболее чувствительным к действию регулятора роста Эпина-Экстра оказался сорт сои Свапа, а к действию биопрепарата Ризоторфин – сорт сои Магева. Наивысшие показатели симбиотической активности у сои Магева происходили при обработке Ризоторфином, на фоне увеличения ИУК в корнях с клубеньками, зеатина – во всех вегетативных органах, ГК – в стеблях и корнях с клубеньками, а у сои сорта Свапа – при обработке Эпином-Экстра на фоне увеличения ИУК – в корнях с клубеньками, зеатина – в листьях и ГК – во всех вегетативных органах растений.

Таким образом, симбиотическая азотфиксация находится под контролем регуляторных систем растения-хозяина. Знание закономерностей роста и развития растений гороха, фасоли и сои разных сортов, особенностей функционирования и изменения их симбиотических систем при использовании биопрепаратов и регуляторов роста создает основу для дальнейшей разработки приемов оптимизации продукционного процесса. Воздействуя экзогенно на растения биопрепаратами и регуляторами роста, в них изменяется эндогенный уровень фитогормонов что, возможно, оказывает влияние на азотфиксирующую активность и продуктивность растений.

Использование биопрепаратов и регуляторов роста с целью повышения эффективности бобово-ризобиального симбиоза можно рассматривать как один из агротехнических приемов современного растениеводства.

7.2. АВТОХТОННАЯ МИКРОФЛОРА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВЫ 110-ЛЕТНЕГО ОПЫТА ПОЛЕВОЙ СТАНЦИИ ТСХА

По инициативе Д.Н. Прянишникова в 1912 году на Полевой опытной станции Тимирязевской сельскохозяйственной академии был заложен стационарный опыт. Он состоял из 7 вариантов, в том числе «Почвы бессменного пара без удобрений.» Этот вариант до сих пор показателен для микробиологов, так как гумус почвы служит в основном единственным источником углерода и азота для микроорганизмов. В почве этого варианта свою характерную активность должна проявить группа автохтонной микрофлоры, интенсивно минерализующая гумусовые вещества.

В свое время, С.Н. Виноградский, родоначальник почвенной микробиологии, гипотетически указал на существование в почве группировок автохтонной и зимогенной микрофлоры.

Благодаря колоссальным усилиям, терпению и таланту ученого, профессор кафедры микробиологии ТСХА Екатерина Зельмановна Теппер (1946) разработала методические подходы и селективные питательные среды для обнаружения и учета этих микроорганизмов. С тех пор в нашей стране и за рубежом при оценке плодородия почвы микробиологи используют приемы Е.З. Теппер (Теппер, 2018).

Безусловно наиболее перспективно использование системы различных методов оценки биологической активности почвы: видовой состав, плотность населения и зоомасса почвообитающих беспозвоночных, развитие активной микрофлоры и концентрация в почве продуктов ее метаболизма, интенсивность ферментативных процессов и др. Применение в комплексе, эти методы позволяют получить объективные данные об «освоенности почвы различными группами организмов и о ее потенциальном плодородии.»

В длительном многофакторном Полевом опыте ТСХА получить объективные и надежные характеристики дерново-подзолистой почвы довольно сложно. Необходим биоиндикатор, отражающий строго

биосимптоматику разнообразных почвенных процессов и общую генетическую и агрономическую диагностику почвы при разных агротехнических приемах. Эта сложная работа требует совместных усилий многих специалистов – почвоведов, микробиологов, биохимиков, агрохимиков и др., которые смогли бы провести комплексное исследование и выявить полнее биологические аспекты формирования определенных почвенных разностей. А также оценить влияние изменений условий среды на биогеоценоз почвы и трансформацию органических соединений.

С появлением проблемы истощения биологического разнообразия почв «благодаря» интенсификации земледелия, необходимы тщательные исследования биоты и формирования ее структур и, связанной с ней устойчивости агроценозов и управления таксономическим составом и выживаемостью бактерии. Эта работа молекулярных биологов, микробиологов и почвоведов должна начинаться с грамотных методических подходов. Бактериальное сообщество почвы – совокупность взаимодействующих между собой функционально различных микроорганизмов. Основу связи в сообществе представляют трофические отношения, «специализация» организмов по использованным субстратам и образуемым продуктам метаболизма.

На стационаре Полевой опытной станции ТСХА постоянно работали и собирали разносторонний и большой фактический материал, разрабатывались теории и гипотезы объединяющие и объясняющие полученные данные. Устанавливали общие принципиальные закономерности по взаимодействиям «системы растение – почва» с агротехническими приемами. Отбирая образцы почвы по вариантам опыта, многие ВУЗы и НИИ нашей огромной страны, защищали кандидатские и докторские диссертации. Этот уникальный стационар – гордость нашей страны, особенно важен для сельского хозяйства, как важны подобные стационары в других цивилизованных странах. От знания почвы зависит ее плодородие.

Подъем урожайности основных и важнейших сельскохозяйственных культур будет достигаться за счёт дальнейшего улучшения агротехники.

Сельскохозяйственная микробиология должна дать вполне обоснованные ответы и рекомендации практикам, производства по усовершенствованию агрономических приемов воздействия на почву. Агробиотехнологическая наука должна широко внедрять результаты экспериментов на поля и защищенный грунт. Результаты исследований почвенной микробиологии давно используются для повышения урожайности, качества и безопасности продукции сельскохозяйственных культур.

Изучение взаимоотношений между почвенными микроорганизмами и высшими растениями позволило получить данные о возможности регулирования состава микрофлоры ризосферы сельскохозяйственных растений. Эта регуляция позволяет оздоравливать почву за счёт подавления развития и даже полного уничтожения фитопатогенных микроорганизмов и активизирования роста не только агрономически полезных микроорганизмов, но и микроорганизмов, стимулирующих произрастание растений.

Большое значение для сельского хозяйства имеют те микроорганизмы, которые участвуют в различных биохимических превращениях в почве, обуславливающих успешное развитие культивируемых растений. Именно микроорганизмы, несмотря на мельчайшие размеры вызывают в почве процессы огромной важности. Благодаря их жизнедеятельности почва превратилась в сложную биологическую системы («природное тело»), которая и определяет агрономические свойства пашни. Природа явления, обуславливающих повышение, понижение плодородия или даже «почвоутомление», связана с эколого-физиологическими особенностями микроорганизмов и их разнообразием. Структура почвенных бактериальных сообществ определяет их приуроченность к определенным биотопам.

Е.З. Теппер установила четкую картину распространения микроорганизмов семейства *Micromonosporaceae* во всех вариантах

многолетнего опыта. Относительное содержание в почве автохтонной микрофлоры и ее отдельных представителей сильно варьирует. Это связано с их физиологической особенностью и биохимической активностью. Например, в неудобренной почве бессменного пара численность микроорганизмов невелика. Однако относительное содержание микроорганизмов автохтонной группы, по отношению к общему числу микробов наиболее высокое: на нитритном агаре они составляют 38,2%, а на агаризованной минеральной среде (без источников углерода и азота) в среднем 39,7%. В неудобренной почве под бессменной рожью общее количество микробов значительно выше, чем в неудобренной почве пара, но относительное содержание автохтонной микрофлоры в ней резко падает.

Численность нокардий (эта группировка принадлежит к автохтонной микрофлоре почвы) уменьшается в почвах, богатых растительными остатками (бессменная рожь) и возрастает в парующих почвах, особенно на бессменном паре. В почве пара в севообороте средний процент нокардий продолжает оставаться высоким – почти на уровне показателей бессменного пара.

Характерно разнообразие нокардий в разных вариантах многолетнего опыта – преобладают определенные виды нокардий, что обусловлено качеством органического вещества почвы. Под бессменным паром в почве преобладают нокардии, образующие пигмент, а в неудобренной почве пара в севообороте больше всего выявляются нокардии, образующие красные колонии с мицелиальным ободком.

Микроорганизмы семейства *Micromonosporaceae* содержатся во всех исследованных вариантах опыта, но составляют небольшой процент от общей микрофлоры. Они являются компонентами различных биотических сообществ, формирующихся в конкретной почве в процессе взаимоотношений с растениями и другими микроорганизмами. Растения также формируют определенные роды микроорганизмов, приуроченные к определенным мезо- и микролокусам данной почвы и экосистемы.

Устойчивость их обеспечивается адаптационной динамикой с заменой одних видов другими (сукцессией).

Е.З. Теппер подтвердила гипотезу Виноградского о существовании в почве микроорганизмов автохтонной группы, которые являются индикаторами состояния и содержания гумуса. Уникальный многолетний опыт на Полевой станции ТСХА позволил установить существование различных физиологических групп микроорганизмов, разлагающих гумусовые вещества в дерново-подзолистых почвах.

Впоследствии было показано, что многие представители почвенной микрофлоры (так называемой зимогенной группировки) способны использовать гумусовые соединения. Причем, регулируя скорость разложения гуминовых кислот, является набор ферментов в клетке микроорганизмов. Наиболее эффективным будет тот микроорганизм, который использует для получения углерода и энергии ассоциированные гумифицированные белки и углеводы.

Наши опыты также показали (Сидоренко и др., 1971; цит. по Р.Тейт III, 1991), что микроорганизмы получают некоторое количество энергии за счет деградации алифатических частей молекулы и боковых цепей ароматических структур гуминовой кислоты (Тейт, 1991). Представители почти всех групп функционально различных почвенных микроорганизмов способны в той или иной степени разлагать гуминовые кислоты (Сидоренко, 2021; 2022; Сидоренко, Жукова, 2021).

Минерализация гуминовой кислоты олигонитрофильными микроорганизмами, стрептомицетами интенсифицируется, например, при добавлении в среду легко метаболизируемых источников углерода и энергии. Многие микроорганизмы обладают ограниченной способностью разлагать ароматические компоненты гуминовых кислот. Вероятно, эти микроорганизмы метаболизируют главным образом гумифицированные, быстро разлагаемые растительные и животные компоненты препаратов гуминовой кислоты. *Nocardia corallina* разлагала 23,4% гуминовой кислоты

внесенной в минеральную среду в качестве единственного источника углерода. В процессе инкубации популяция микроорганизмов увеличилась в 15 раз.

Таким образом, пути синтеза гуминовой кислоты в почве также сложны, как и сами ее молекулы. Происхождение углеродного скелета специфических гуминовых кислот определяется компонентами растительного происхождения, микробной биомассы или продуктами деятельности микроорганизмов, а также компонентами животных тканей.

Многолетний опыт Полевой станции ТСХА подсказывает, что к этому списку факторов гумусообразования следует добавить антропогенные источники. Полимеризация гуминовых кислот не исключает биологический катализ – ферменты, обычные компоненты почвы. Наличие автохтонной микрофлоры, существование микроорганизмов, способных катаболизировать по крайней мере часть гуминовой кислоты, свидетельствует о том, что возможна полная минерализация гуминовых кислот. При этом, особенность микробиологических трансформаций заключается в том, что большая их часть является результатом действия нескольких ферментов, возникновения элиминирования определенных функциональных групп микроорганизмов.

Поэтому классификация микробиологических процессов как химических превращений органического субстрата, по-видимому, не может строиться на основе классификаций химических реакций по типу создания и разрушения химической связи, как это принято в современной органической химии, или на основе ферментов. В последние годы появилось много работ, например (Трухачев, Тарасенко, 2006, Gasparyan и др., 2016; Trukhachev и др., 2016), в которых описаны новые реакции, осуществляемые микроорганизмами для превращения органических соединений, представлено накопление информации в виде баз данных, проведена оценка факторов, формирующих качество выращиваемой сельскохозяйственной продукции.

8. ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ

8.1. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПОСЛЕ ПЕРЕХОДА В ЗАЛЕЖНОЕ СОСТОЯНИЕ

В настоящее время, в связи с проблемой глобального потепления, которое связывают с заметным увеличением содержания углекислого газа в атмосфере, особое внимание уделяют углероду, связанному в составе органического вещества почв. Известно, что в почвах содержится в 3-4 раза больше органического углерода, чем в составе наземной биомассы (Lal, 2004; Schlesinger, Andrews, 2000). Запасы углерода в почвах более чем вдвое выше запасов углерода, содержащихся в атмосфере (Lal, 2004). Многие исследователи отмечают, что почва играет ведущую роль в связывании углерода в наземных экосистемах (Grace, 2004; Gregorich и др., 1998; Guo, Gifford, 2002). В составе органического вещества почв содержится около 60% глобального запаса углерода (C) суши, накопление органического вещества в почвах в значительной мере определяется характером использования почв (West, Post, 2002).

В результате экономических преобразований в сельском хозяйстве России в девяностых годах прошлого века значительные площади пахотных земель перешли в залежное состояние, особенно велики площади залежных почв в лесной зоне России, после прекращения обработки почв на них происходила естественная сукцессия.

Обработка почв путем вспашки и другими способами усиливает минерализацию органического вещества почв за счет того, что растительные остатки приближаются к микроорганизмам, разрушение почвенных агрегатов способствует минерализации стабильных органических веществ, при этом

процесс потерь почвенного органического вещества может быть обращен вспять (Lal, 2004).

Легкая фракция органического вещества почв, в основном, состоит из растительных остатков разной степени разложения, имеет высокую концентрацию углерода, обладает меньшей стабильностью, легко подвергается минерализации. Тяжелая фракция является органо-минеральной субстанцией с высокой плотностью и более низким содержанием углерода, она характеризуется большей стабильностью. Содержание легкой фракции органического вещества почв быстро реагирует на изменения характера использования почв и хорошо коррелирует со скоростью минерализации азота (Tan и др., 2007).

Известна существенная роль легкой фракции (как свободного углерода, так и углерода закрепленного внутри почвенных агрегатов) в формировании и сохранении структуры почвы, в первую очередь почвенных макроагрегатов (> 250 мкм) (Miller, Jastrow, 1990). Водная и ветровая эрозия способствуют перераспределению органического вещества. В условиях сельскохозяйственного использования почв трудно определить, за счет чего происходят потери органического вещества почв – в результате минерализации или под воздействием эрозии. Необходимо иметь в виду, что при водной эрозии в первую очередь перемещаются легкие фракции органического вещества почв – верхние части склонов обедняются легкой фракцией, а в нижних частях склонов, где происходит отложение смытого материала, может происходить накопление легкой фракции органического вещества (Gregorich и др., 1998).

Известно, что обработка почв способствует разбавлению органического вещества почв, поскольку в пахотный слой вовлекаются нижележащие горизонты почвы с низким содержанием органического вещества. В связи с этим, для точной оценки воздействия обработки почвы на органическое вещество необходимо помимо содержания органического

вещества, учитывать его запасы (единицы массы на единицу площади) (Ellert, Bettany, 1995).

Некоторые исследователи отмечают возможность того, что возвращение земель к естественным типам лесной растительности может привести к увеличению запасов углерода в биомассе, в то время как содержание углерода в почве могло бы скорее снизиться (Guo, Gifford, 2002; Jackson и др., 2002).

Повышение связывания углерода может также происходить в результате снижения интенсивности обработки почв. Известно, что больше углерода теряется из пахотных почв, чем из менее нарушенных почв. Меры по снижению нарушения почвенного покрова включают сокращенные или нулевые системы обработки почвы, зарезервированные земли и возделывание многолетних культур. Увеличение запасов углерода в почвах может быть обеспечено в результате перехода от традиционного пахотного земледелия к другим видам землепользования с более высоким вкладом углерода или со снижением интенсивности обработки почвы (например, выращивание биоэнергетических культур, преобразование в пастбища, естественное возобновление) (Freibauer и др., 2004). Накопление органического углерода на бывших сельскохозяйственных землях повышается в результате развития многолетней растительности, так как создаются условия для связывания атмосферного углерода (Post, Kwon, 2000).

Исследование двух почв в Новой Зеландии, которые использовались в течение разных периодов под пашню и под пастбище, показало, что содержание общего органического углерода при различном характере использования оставалось стабильным, а содержание лабильных форм органического вещества (легкая фракция, микробная биомасса и водорастворимый C) в почве пастбищ были существенно выше, чем в аналогичных пахотных почвах. Это объясняется более высоким уровнем поступления в почву пастбищ органических остатков, а также более

активной минерализацией лабильного органического вещества пахотных почв в результате частых обработок почвы. Легкая фракция может служить индикатором состояния органического вещества почв, поскольку она быстро истощается при интенсивных обработках почвы и снова накапливается при возделывании кормовых культур (Haynes, 2000).

Исследователи из Польши показали, что залежи могут функционировать в окружающей среде, как элемент стабилизации состояния агроэкосистем. Отмечается, что заметные положительные изменения физических свойств (плотности, пористости, воздухопроницаемости, влагоёмкости) почв начали проявляться на шестой - седьмой сезон после прекращения обработки почв и их перехода в залежное состояние (Pranagal, Podstawka-Chmielewska, 2012).

Исследования почв прерий в штате Миннесота, США, которые были выведены из земледелия несколько десятилетий назад, показали, что по мере увеличения срока, прошедшего после прекращения обработки почв, увеличивалось содержание как лабильного, так и стабильного органического вещества почв. Общий темп увеличения содержания органического вещества в первые несколько десятилетий после прекращения сельскохозяйственного использования составил $516,8 \text{ кг С га}^{-1}$ в год (McLauchlan, 2006).

Цель нашей работы состояла в исследовании изменений показателей плодородия дерново-подзолистой почвы (содержание и запасы общего углерода, содержание и запасы углерода легкой фракции, плотность, плотность твердой фазы, общая пористость, агрегатное состояние) в результате ее перехода из пашни в залежь на фоне проявления слабой водной эрозии.

В исследовании использовались образцы почв с двух расположенных рядом полей на северо-западе Московской области (Россия), одно из полей, площадью 28 га, находится под пашней, используется в полевом севообороте, другое поле, площадью 33 га, в течение 16 лет выведено из земледелия и находится в залежном состоянии, на нем произошла сукцессия

травянистой растительности. Поля расположены на склоне восточной экспозиции, крутизной 2°, высота над уровнем моря 214 -218 м, среднегодовая температура 3,3°, среднегодовое количество осадков 610 мм. Почвенный покров обоих полей представлен почвой дерново-глубокоподзолистой тяжелосуглинистой на покровном суглинке (Umbric Albeluvisols Abruptic), на поле отмечается слабая водная эрозия.

Образцы почв отбирались на каждом из полей в верхней и в нижней частях склонов с площадок размером 50 на 50 м в пятикратной повторности из слоев почвы 0-10 см и 10-20 см. Для определения плотности почвы отбирали керны диаметром 5 см и длиной 5 см, сухую массу керна делили на его объем, отбор образцов проводили в августе 2020 г., после уборки урожая ячменя на возделываемом поле.

Образцы почв были проанализированы на содержание общего органического углерода и углерода легкой фракции.

Легкую фракцию выделяли из просеянной (<1 мм) сухой почвы методом (Borisov, Ganzhara, 2008; Kristiansen и др., 2006) Использовали две последовательные экстракции: первую экстракцию проводили раствором NaI плотностью 1,8 г/см³ (соотношение почва : экстрагент 1:2), после тщательного перемешивания полученную суспензию центрифугировали при 5000 оборотах в минуту в течение 10 минут, легкую фазу почвы отделяли от супернатанта фильтрованием на бумажном фильтре, затем переносили в центрифужную пробирку и проводили вторую экстракцию раствором NaI плотностью 1,6 г/см³ для отделения минеральных илистых частиц. Суспензию центрифугировали и отделяли легкую фракцию от супернатанта на фильтре, так же как при первой экстракции. Легкую фракцию на фильтре промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе при 70°C.

Содержание органического углерода в почве и в легкой фракции определяли методом сухого сжигания (900°C) с использованием анализатора CN Vario Micro Cube (Elementar, Langenselbold, Германия).

Агрегатный состав исследуемых почв изучали с помощью процедуры сухого просеивания. Порции почвы по 300 г переносили в набор сит (10, 7, 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,25 и 0,053 мм) (Amézketa, 1999).

Для определения содержания водостойких агрегатов 50 г ненарушенной почвы разделяли с помощью мокрого просеивания на наборе сит с диаметром отверстий 10, 2, 0,25, 0,053 мм, в результате были выделены четыре водостойкие агрегатные фракции: макроагрегаты (2-10 мм), крупные агрегаты (0,25-2 мм), микроагрегаты (0,063-0,25 мм) и алевритово-глинистые частицы (<0,053 мм) (Benbi и др., 2015).

Для расчета наименьшей значимой разницы Фишера в содержании общего углерода, углерода легкой фракции и плотности почвы был проведен дисперсионный анализ с помощью программного комплекса STRAZ.

Различия по содержанию и запасам общего углерода между слоями 0-10 см и 10-20 см в пахотной почве были незначительными, поскольку эти слои относятся к одному пахотному горизонту, ежегодно перемешиваемому при обработках. При этом, в залежной почве наметилась заметная тенденция к повышению содержания общего углерода в слое 0-10 см по сравнению со слоем 10-20 см, поскольку в необрабатываемых почвах основная часть растительных остатков накапливается в верхнем слое, однако, различия между слоями были недостоверными (таблица 8.1.1).

Увеличение содержания общего углерода в почвах нижних частей обоих полей, по сравнению с верхними также проявилось в виде тенденции, различия оказались недостоверными.

Достоверный рост содержания общего углерода был отмечен для залежных почв по сравнению с пахотными. Данный рост наглядно проявляется при анализе запасов общего углерода в исследуемых почвах: в верхней части поля под пашней запас общего углерода в слое 0-20 см составил 38,64 т/га, а в соответствующей части поля под залежью – 50,7 т/га. Для нижних частей этих полей запас общего углерода в слое 0-20 см был равен 41,17 т/га в слое 0-20 см пахотной почвы и 54,35 т/га в таком же слое

залежной почвы. Таким образом, запасы общего углерода в слое 0-20 см исследуемой почвы за 16 лет после ее перехода из пахотного в залежное состояние увеличились примерно на 30%.

Таблица 8.1.1

Содержание и запасы общего углерода в дерново-подзолистой почве под пашней и под залежью

Землепользование	Глубина, см	Содержание общего углерода, %	Запасы общего углерода, т/га
Пашня, верхняя часть склона	0-10	1,39	19,04
	10-20	1,41	19,60
Пашня, нижняя часть склона	0-10	1,53	20,50
	10-20	1,52	20,67
Залежь, верхняя часть склона	0-10	1,91	25,79
	10-20	1,73	24,91
Залежь, нижняя часть склона	0-10	2,12	27,98
	10-20	1,87	26,37
НСР ₀₅		0,27	-

Для пахотных почв различия в содержании и запасах углерода легкой фракции между слоями 0-10 и 10-20 см были незначительными и обусловлены, по-видимому, растительными остатками года отбора образцов (таблица 8.1.2). В связи с преимущественным накоплением растительных остатков в слое 0-10 см в залежной почве наметилась дифференциация по содержанию углерода легкой фракции между слоями 0-10 см и 10-20 см, для почвы в нижней части склона увеличение содержания углерода легкой фракции в слое 0-10 см было достоверным. Также отмечено достоверное повышение содержания углерода легкой фракции в слое 0-10 см пахотной почвы, расположенной в нижней части поля, по сравнению с таким же слоем верхней части поля, можно предположить, что это связано с переносом частиц легкой фракции органического вещества с верхней части поля на нижнюю в результате водной эрозии, в слоях 10-20 см данных почв отмечена такая же тенденция, однако, различия были недостоверными.

В почве залежного поля по сравнению с пахотной почвой содержание и запасы углерода легкой фракции возросли очень значительно – в 2-3 раза. В

слое 0-20 см пахотной почвы, расположенной в верхней части поля запасы углерода легкой фракции составили 5,93 т/га, а в таком же слое залежной почвы в верхней части поля 14,76 т/га. В нижних частях склона в слое 0-20 см запас углерода легкой фракции составил: на пашне – 8,50 т/га, на залежи 15,51 т/га.

Таблица 8.1.2

Содержание и запасы углерода легкой фракции в дерново-подзолистой почве под пашней и под залежью

Землепользование	Глубина, см	Содержание углерода легкой фракции, %	Запасы углерода легкой фракции, т/га
Пашня, верхняя часть склона	0-10	0,22	3,01
	10-20	0,21	2,92
Пашня, нижняя часть склона	0-10	0,34	4,56
	10-20	0,29	3,94
Залежь, верхняя часть склона	0-10	0,57	7,70
	10-20	0,49	7,06
Залежь, нижняя часть склона	0-10	0,64	8,45
	10-20	0,51	7,19
НСР ₀₅		0,11	-

Определение плотности и плотности твердой фазы показало, что в залежной почве наметилась слабая тенденция к снижению плотности в слое 0-10 см и увеличению плотности в слое 10-20 см, по сравнению с пахотной почвой, однако, эта дифференциация оказалась недостоверной (таблица 8.1.3). В залежных почвах можно отметить тенденцию к снижению плотности твердой фазы, по сравнению с пахотными почвами, что обусловлено, по-видимому, повышением поступления растительных остатков в почву залежи и соответствующим увеличением содержания легкой фракции органического вещества, однако, эти различия были недостоверными. Общая пористость всех исследованных пахотных и залежных почв почти не различалась.

Физические свойства дерново-подзолистой почвы под пашней и под залежью

Землепользование	Глубина, см	Плотность почвы, г/см ³	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Общая пористость, %
Пашня, верхняя часть склона	0-10	1,37	2,66	48
	10-20	1,39	2,68	47
Пашня, нижняя часть склона	0-10	1,34	2,63	49
	10-20	1,36	2,67	49
Залежь, верхняя часть склона	0-10	1,35	2,62	48
	10-20	1,44	2,65	46
Залежь, нижняя часть склона	0-10	1,32	2,58	49
	10-20	1,41	2,63	46
НСР ₀₅		0,07	0,11	-

Количество макроагрегатов размером от 3 до 10 мм в слое 0-10 см исследуемых почв под залежью заметно увеличилось по сравнению с пахотными почвами, так суммарное содержание агрегатов этих размеров в пахотной почве на верхней части поля составило 23,6%, а в залежной почве на верхней части поля 41,2%, на нижних частях поля содержание таких макроагрегатов составило: на пашне – 23,2%, на залежи – 44,5% (таблица 8.1.4). В почвах залежи и в верхней и в нижней частях поля количество микроагрегатов размером 0,25-0,053 мм сократилось по сравнению с пашней примерно на 10%. Также в залежных почвах содержание свободных частиц глины и ила (размером менее 0,053 мм) было заметно меньше, чем в пахотных.

В почве под залежью (слой 0-10 см) количество крупных водопрочных макроагрегатов размером от 2 до 10 мм увеличилось по сравнению с пахотной почвой примерно на 5%, приблизительно на такую же величину увеличилось под залежью содержание менее крупных водопрочных макроагрегатов (0,25-2 мм) (таблица 8.1.5).

Таблица 8.1.4

Результаты агрегатного анализа (сухое просеивание)

Землепользование, глубина, см	Размер агрегатов, мм / содержание, %									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,053	<0,053
Пашня, верхняя часть склона, 0-10	16,0	10,3	5,7	7,6	8,3	3,9	7,0	5,4	29,7	6,1
Пашня, нижняя часть склона, 0-10	14,8	11,4	5,7	6,1	7,8	5,9	7,5	6,7	27,8	6,3
Залежь, верхняя часть склона, 0-10	16,2	16,4	16,8	8,0	6,1	4,2	4,1	6,9	19,3	2,0
Залежь, нижняя часть склона, 0-10	16,9	18,1	16,3	10,1	4,6	4,0	5,3	4,9	18,2	1,6

Таблица 8.1.5

Содержание водопрочных агрегатов (мокрое просеивание)

Землепользование, глубина, см	Размер агрегатов, мм / содержание, %			
	10-2	2-0,25	0,25-0,053	<0,053
Пашня, верхняя часть склона, 0-10	18,4	18,3	29,2	34,1
Пашня, нижняя часть склона, 0-10	18,8	20,1	28,5	32,6
Залежь, верхняя часть склона, 0-10	23,4	25,7	23,6	27,3
Залежь, нижняя часть склона, 0-10	23,8	26,1	23,1	27,0

При этом в залежной почве по сравнению с пахотной уменьшилось количество водопрочных микроагрегатов (0,053-0,25 мм), а также снизилось содержание свободных частиц глины и ила. Существенных различий в содержании водопрочных агрегатов в зависимости от расположения почвы в верхней или нижней части поля не отмечено.

В данном исследовании проведена количественная оценка изменения содержания и запасов общего углерода и углерода легкой фракции в дерново-подзолистой почве в результате перехода от сельскохозяйственного использования в полевом севообороте (вспашка с оборотом пласта) к залежи с естественной сукцессией травянистой растительности в течение 16 лет.

Известно, что, как правило, под естественной травянистой растительностью количество поступающих в почву растительных остатков выше, чем при сельскохозяйственном использовании почв, кроме того, отсутствие обработки под естественным растительным покровом способствует снижению скорости минерализации органического вещества почв.

За 16 лет, прошедших с момента прекращения обработки почвы и начала восстановления естественной растительности, в слое 0-20 см залежной почвы, расположенной в верхней части склона, запас общего углерода увеличился на $12,06 \text{ Мг} \cdot \text{га}^{-1}$, по сравнению с аналогичной почвой, остававшейся под пашней. В слое 0-20 см залежной почвы в нижней части склона увеличение запаса общего углерода составило $13,18 \text{ Мг} \cdot \text{га}^{-1}$, при этом, запас углерода легкой фракции в слое 0-20 см под залежью в верхней части склона возрос по сравнению с пашней на $8,83 \text{ Мг} \cdot \text{га}^{-1}$, а в нижней части склона на $7,01 \text{ Мг} \cdot \text{га}^{-1}$, то есть, увеличение запаса общего углерода на залежи обусловлено, преимущественно, за счет роста запаса углерода легкой фракции.

Следует отметить роль водной эрозии в перераспределении легкой фракции органического вещества почв. Запасы углерода легкой фракции в слое 0-20 см пахотной почвы в нижней части поля были выше, чем запасы в верхней части поля на $1-1,5 \text{ Мг} \cdot \text{га}^{-1}$ (на 30-50%). На залежной почве влияние эрозии проявилось слабее: запасы углерода легкой фракции в слое 0-10 см залежной почвы в нижней части поля были выше только на $0,75 \text{ Мг} \cdot \text{га}^{-1}$ (примерно на 10%), чем в почве верхней части поля. В слое залежной почвы 10-20 см различий в содержании легкой фракции между верхней и нижней частями поля не обнаружено.

Достоверного уменьшения плотности залежной почвы по сравнению с пахотной за 16 лет пребывания в залежи не произошло, по-видимому, на данной стадии сукцессии разрыхляющий эффект от поступления дополнительных растительных остатков и накопления легкой фракции

органического вещества в залежной почве был сравним по величине с разрыхляющим эффектом от регулярных обработок пахотной почвы, а в горизонте 10-20 см залежной почвы отмечалась тенденция к повышению плотности по сравнению с пахотной почвой.

Вследствие распашки целинных почв происходит значительное снижение содержания макроагрегатов и увеличение доли микроагрегатов. На нашем объекте отмечен обратный процесс, в результате перехода пахотной почвы в залежное состояние снижалось содержание микроагрегатов размером менее 0,25 мм и возрастало количество макроагрегатов, в том числе водостойких. Можно предположить, что это обусловлено увеличением поступления растительных остатков в почву, накоплением легкой фракции органического вещества, после гумификации которой, новообразованные гумусовые вещества при взаимодействии с минеральной частью почвы формируют макроагрегаты.

Выводы

За 16 лет после перехода пахотной дерново-подзолистой почвы в залежное состояние произошло достоверное увеличение содержания в ней общего углерода, преимущественно за счет накопления углерода легкой фракции органического вещества, что обусловлено увеличением поступления растительных остатков в почву и снижением скорости их минерализации при отсутствии обработок.

На пашне наблюдалось увеличение содержания легкой фракции в почве нижней части склона, по сравнению с верхней, очевидно, это связано с процессом водной эрозии.

На данной стадии сукцессии не обнаружено достоверных изменений плотности, плотности твердой фазы и общей пористости в залежной почве, по сравнению с пахотным аналогом.

В залежной почве происходило увеличение доли макроагрегатов (в том числе водостойких) и снижение содержания микроагрегатов, а также свободных частиц глины и ила.

8.2. ОСОБЕННОСТИ НЕГАТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СВОЙСТВ ПОЧВ СТЕПНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ

Современное состояние биосферы характеризуется постоянно возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду. Одним из таких факторов антропогенного воздействия на почвенный покров является орошение, значение которого для сельскохозяйственного производства непрерывно возрастает. Если в 60-х годах прошлого века площадь орошаемых земель в мире составляла всего около 50 млн. га, то уже в 80-х годах находилась на уровне 270 млн. га, а в 21 веке достигнет по прогнозам 420 млн. га (Шумаков и др., 1988). Столь бурное развитие орошаемого земледелия обусловлено естественными причинами, поскольку в целом ряде регионов вследствие дефицита атмосферных осадков невозможно создание высокопродуктивных устойчивых агроландшафтов без его развития.

Так на территории России напряженность с водным режимом почв начинает периодически возникать уже на типичных черноземах, более отчетливо это обнаруживается в подзоне черноземов обыкновенных, где коэффициент увлажнения варьирует в пределах 0,55-0,77 и эффективность земледелия начинает во многом зависеть от характера естественного увлажнения почв. Еще более напряженная ситуация с водным режимом почв складывается в сухостепной зоне, а в полупустынной дефицит влаги перерастает в хронический.

В процессе жизнедеятельности на создание 1 г сухого вещества культурные растения расходуют от 300 до 1000 г воды. Поэтому от

содержания доступной влаги в почве будет напрямую зависеть урожайность сельскохозяйственных культур. Например, по данным (Ковда, 1981) для получения урожая зерновых в пределах 2,0-2,5 т/га в почве должно содержаться 300-350 мм доступной влаги, урожай в 3,0-4,0 т/га потребует наличия уже 400-500 мм влаги. Обеспечить такой запас влаги в почве за счет естественного увлажнения даже при внедрении самых прогрессивных влагосберегающих технологий в ряде регионов не представляется возможным.

Ситуация осложняется еще и тем, что по мере нарастания сухости климата в почвах усиливается проявление таких негативных свойств, как засоление, осолонцевание, карбонатность, малогумусность и др., усложняется структура почвенного покрова, в первую очередь за счет развития комплексности, которая особенно ярко проявляется в зоне каштановых почв. В таких условиях ведение неорошаемого земледелия часто оказывается малоэффективным без дополнительного поступления влаги за счет орошения. Дефицит атмосферных осадков ограничивает возможность проведения химической мелиорации почв с целью повышения их плодородия, поскольку при недостатке влаги в почве мелиорирующие вещества плохо, или вообще не растворяются, и отсутствует отток продуктов обменных реакций из корнеобитаемого слоя. В целом около 33 % пахотных земель Российской Федерации в той или иной степени испытывают недостаток в атмосферном увлажнении, и подвержены воздействию засух и суховеев

Орошение позволяет оперативно устранять дефицит влаги в почве и обеспечивает благоприятные условия для произрастания сельскохозяйственных культур. Эффективность ирригации доказана и в районах с относительно высокой обеспеченностью осадками. В тоже время при интенсивном орошении уровень антропогенной нагрузки на почву многократно возрастает, что сопровождается существенным изменением почвенных свойств и режимов и часто приводит к негативным последствиям.

Особую тревогу вызывают отмечающиеся на оросительных системах такие явления как подщелачивание, слитизация и оглинивание, изменение состава и свойств гумусовых кислот, непрогнозируемые вспышки микробиологической и ферментативной активности, эфемерное содопроявление и ряд других, так называемых «моментальных процессов».

8.2.1. Причины и особенности негативных изменений физико-химических и химических свойств орошаемых почв.

Неблагоприятные изменения свойств и режимов орошаемых почв могут быть обусловлены разными причинами. Одни из них сходны с причинами, вызывающими деградацию почв неорошаемых агроландшафтов, другие проявляются только в условиях орошения. При этом многие проблемы, возникающие при ведении неорошаемого земледелия, в условиях орошения проявляются более резко и с более серьезными последствиями.

В первую очередь деградационные явления развиваются при экстенсивном использовании орошаемых почв. Длительное культивирование пропашных севооборотов или бессменных культур, несоблюдение агротехники, низкие дозы удобрений или несбалансированное их применение, постоянные переполивы, использование для орошения некондиционных вод при отсутствии превентивных мелиоративных мероприятий сопровождаются негативными изменениями свойств и режимов почв и снижением их плодородия.

Для условий Российской Федерации и ряда других стран, большое значение имеет тот факт, что основные площади орошаемых земель представлены черноземами и каштановыми почвами, которые сформировались в условиях непромывного типа водного режима и недостаточного увлажнения при абсолютном господстве аэробных условий. Спорадическое орошение с применением небольших поливных норм, как

правило, не оказывает существенного влияния на направленность почвообразовательного процесса, и если не наблюдается подъема уровня грунтовых вод, а для полива используется доброкачественная вода, то не происходит и заметного изменения свойств орошаемых почв. При интенсивном орошении ситуация существенно изменяется, особенно при экстенсивном использовании пахотных угодий.

С одной стороны при интенсивном орошении в почвах не только возрастает частота циклов увлажнения – иссушения, но и периодически, при поливах, возникает промывной тип водного режима, в результате чего происходит увеличение запасов влаги в «мертвом горизонте» и ее перетекание в нижележащие слои почвенного профиля (Розанов и др., 1989). В среднем около 10% от суммарного водопотребления, теряется на инфильтрацию, пополняя грунтовые воды и вызывая повышение их уровня (Мосиенко, Чумакова, 1990). С фильтрующей водой из верхней части профиля орошаемых почв теряются различные водорастворимые химические элементы и соединения, в том числе ионы кальция и питательные вещества (Мосиенко, Чумакова, 1990; Foster и др., 2018).

С другой стороны, непродолжительные по времени, но частые поливы в жаркое время года способствуют активному развитию анаэробных условий, что вызывает трансформацию вещественного состава орошаемых почв по своим последствиям сходной с глееобразованием. В подвижное состояние переходят железо, алюминий, кальций и других элементы, негативным изменениям подвергается органическая часть почв (Зайдельман, 2014).

С характером увлажнения почв тесно связано функционирование микрофлоры. Уже при влажности почвы, равной 90 % от предельно-полевой влагоемкости, количество денитрификаторов по сравнению с неорошаемыми условиями возрастает в 20 раз, а анаэробных бактерий рода *Clostridium pasteurianum* – в 7 раз (Андреюк и др., 1988). Важно, что под влиянием орошения не только возрастает численность и изменяется состав микрофлоры, но и увеличивается период ее активного функционирования за

счет дополнительного поступления поливной воды в летние месяцы. Это, в свою очередь, при недостатке энергетического материала создает благоприятные условия для интенсивной минерализации гумусовых веществ и негативной трансформации органической части орошаемых почв.

Большое значение имеет качество (химический состав) поливной воды, от которого непосредственно будут зависеть солевой режим и физико-химические свойства орошаемых почв. Для неорошаемых черноземов и каштановых почв типичен гидрокарбонатно-кальциевый состав почвенного раствора с общей минерализацией около 1 г/л, причем ион кальция заметно преобладает над другими катионами. Величина отношения Ca/Na составляет около 26, а Ca/Na + Mg – 2,6. (табл. 8.2.1).

Таблица 8.2.1

Средний химический состав почвенных растворов и оросительных вод, ммоль-экв/л (Панов, Мамонтов, 2001).

Почва, источник орошения	Сумма солей, г/л	HCO_3^-	Cl ⁻	SO_4^{2-}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	$\frac{Ca^{2+}}{Na^{+}}$	$\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+} + Na^{+}}$
Чернозем	0,88	6,6	1,3	1,5	7,7	2,7	0,3	25,7	2,6
р. Волга	0,38	2,7	1,4	1,3	3,0	1,0	1,4	2,1	1,1
р. Дон	0,41	2,7	1,7	1,4	2,3	1,4	2,0	1,2	0,7
р. Кубань	0,37	2,7	1,0	1,4	2,8	1,0	1,3	2,2	1,2
р. Егорлык	1,66	3,0	6,5	20,7	7,6	10,5	14,4	0,5	0,3
Веселовское водохранилище	1,59	3,3	15,2	12,5	6,0	8,3	17,0	0,4	0,2
Таганрогский залив	2,2	2,4	25,6	8,0	3,8	6,8	25,8	0,2	0,1
Дренажные воды	1,2	6,6	2,6	8,1	3,7	4,1	9,6	0,4	0,3

Такой химический состав почвенных растворов придает стабильность почвенному поглощающему комплексу и способствует формированию строго определенных свойств почвы. В составе обменных катионов полностью доминирует ион кальция, на долю которого приходится 70-85% от

суммы обменных катионов. Насыщенность почвенных растворов гидрокарбонатом и отчасти сульфатом кальция обеспечивает нейтральную реакцию среды, коагуляцию новообразованных гумусовых веществ, органических и минеральных коллоидов, способствует формированию агрономически ценной водоустойчивой структуры.

В водах главных источников орошения величины этих отношений значительно меньше: $\text{Ca/Na} - 0,4-2,1$, $\text{Ca/Na} + \text{Mg} - 0,2-1,1$. Следовательно, химический состав даже лучших по качеству поливных вод (р. Волга, Дон, Кубань) не соответствует химическому составу почвенных растворов, циркулирующих в незасоленных и несолонцеватых черноземах и каштановых почвах.

Поэтому под влиянием орошения со временем произойдет трансформация почвенных растворов, и они станут аналогичными по химическому составу поливной воде, что может вызвать негативные изменения свойств и режимов орошаемых почв.

При использовании для полива пресной воды химизм почвенных растворов изменяется в зависимости от интенсивности орошения. При интенсивном орошении происходит разбавление почвенных растворов (в 1,5-3 раза и более) и вынос из верхней части почвенного профиля гидрокарбонатов и сульфатов кальция.

Лизиметрические исследования показали, что в неорошаемых условиях в летний период миграция веществ в черноземах и каштановых почвах практически отсутствует. При орошении вынос минеральных соединений из пахотных горизонтов этих почв варьирует от 10 до 113 кг/га, причем от 45 до 75% от суммы растворенных элементов приходится на долю иона кальция (табл.8.2.2).

Изменения затрагивают не только соединения кальция жидкой фазы и лабильную часть карбонатных аккумуляций (налеты, плесень, прожилки). Происходит перестройка всего карбонатного профиля почв с заменой стабильных карбонатных новообразований (белоглазка) мобильными

миграционными формами (налеты, прожилки). Мобильные формы карбонатов в орошаемых почвах обнаруживаются в более глубоких горизонтах по сравнению с неорошаемыми почвами.

Вынос кальция с нисходящими миграционными потоками не компенсируется полностью его передвижением в верхнюю часть профиля почв при их иссушении в межполивной период. Есть все основания говорить о развитии в интенсивно орошаемых почвах такого элементарного почвенного процесса, как выщелачивание. Выщелачивание сопровождается перемещением вниз глубины вскипания от свободных карбонатов, которая за довольно короткий срок орошения может опуститься на 20-50 см. Более того, карбонатные разности почв, за 10-15 лет интенсивного орошения, могут практически полностью потерять свободные карбонаты из верхнего 20-30-сантиметрового слоя. В таких условиях концентрации кальция в почвенном растворе уменьшается, а доля натрия увеличивается. Такое изменение химизма почвенного раствора ослабляет его коагулирующую способность, что создает предпосылки для увеличения дисперсности почвенной массы.

Таблица 8.2.2

Состав лизиметрических растворов орошаемых черноземов и темно-каштановых почв, мг/л (Панов, Мамонтов, 2001)

Участок	Глубина	pH	Ca	Mg	Na	K	Fe	Si	Сумма элементов
Черноземы обыкновенные									
Пропашные культуры	30	7,4	44,0	6,9	9,7	3,1	0,2	2,5	66,4
	55	7,6	72,7	9,1	11,4	5,7	1,6	1,6	102,1
Многолетние травы	30	7,4	83,4	44,5	10,1	3,2	Сл.	4,1	145,3
	55	7,7	167,7	33,8	15,8	4,3	0,1	2,3	224,0
Темно-каштановые почвы									
Пропашные культуры	30	7,1	37,0	10,9	8,3	2,7	0,7	2,5	62,1
	58	7,4	57,3	21,8	9,6	7,1	1,7	3,6	101,1
Многолетние травы	30	7,5	68,3	38,1	10,8	3,8	0,1	4,8	125,9
	58	7,8	76,2	29,3	13,2	4,1	Сл.	3,1	125,9

Другая ситуация возникает при умеренном орошении пресными водами, когда дополнительное количество воды, поступающее в почву при поливах, циркулирует исключительно в пределах естественного водооборота. В этом случае поливная вода не соприкасается с «мертвым горизонтом» и, что самое главное, не затрагивает инертные аккумуляции легкорастворимых солей, расположенные на той или иной глубине почвенного профиля. Тогда в орошаемых почвах формируется положительный баланс кальция за счет его поступления с поливной водой. Через 20-40 лет орошения масштабы аккумуляции кальция в почвах могут быть оценены уже количественно с учетом различных его форм.

С характером орошения и качеством поливной воды непосредственно связан солевой режим и физико-химические свойства орошаемых почв. Для неорошаемых черноземов и каштановых почв типичен гидрокарбонатно-кальциевый состав почвенных растворов с общей минерализацией около 1 г/л и абсолютном преобладании кальция над другими катионами. Насыщенность почвенных растворов гидрокарбонатом кальция обеспечивает нейтральную реакцию среды, коагуляцию новообразованных гумусовых веществ и минеральных коллоидов, способствует структурообразованию. В воде многих рек, используемой для орошения, общая концентрация солей и величина отношения Ca/Na и $Ca/Mg+Na$ меньше.

Поэтому при интенсивном орошении возможно обессоливание орошаемых почв, т.е. снижение концентрации почвенных растворов, а также абсолютное и относительное увеличение в их составе ионов натрия и магния, поскольку со временем почвенные растворы приобретают химизм поливной воды. Это будет способствовать увеличению подвижности отдельных компонентов твердой фазы орошаемых почв, вплоть до их полного выноса их верхней части почвенного профиля благодаря промывному типу водного режима. Однако при этом не происходит существенных отрицательных изменений в химических и физико-химических свойствах орошаемых почв. Отмечается лишь некоторое обессоливание почвенного раствора и

уменьшение отношений Ca/Na и Ca/Mg+Na в составе водной вытяжки (табл. 8.2.3).

Таблица 8.2.3

Влияние длительного орошения пресной водой на химические и физико-химические свойства пахотного горизонта чернозема обыкновенного

рН _{Н2О}	Сухой остаток, %	Водорастворимые			$\frac{Ca}{Na}$	$\frac{Ca}{Mg+Na}$	Обменные	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺			Ca ²⁺	Na ⁺
		мг-экв/100 г почвы					% от емкости обмена	
Чернозем неорошаемый								
7,01	0,055	0,62	0,22	0,10	6,2	1,9	88,2	1,0
Чернозем орошаемый пресной водой, севооборот с многолетними травами								
6,91	0,069	0,67	0,37	0,14	4,5	1,3	87,5	1,7
Чернозем орошаемый пресной водой, монокультура кукурузы								
6,90	0,031	0,31	0,20	0,06	5,2	1,2	85,2	1,5

При орошении минерализованными водами концентрация почвенных растворов увеличивается, часто до критических значений, а в ионном составе начинают доминировать привносимые с поливной водой хлориды, сульфаты и гидрокарбонаты натрия и магния. В зависимости от характера орошения легкорастворимые соли аккумулируются или в верхней части почвенного профиля или в нижележащих горизонтах (табл. 8.2.4,5).

Таблица 8.2.4

Влияние краткосрочного орошения водой щелочного типа с минерализацией 1,17 г/л на темно-каштановую почву

Показатель	Апах 0-20	В ₁ 30-40	В ₂ 52-62
Неорошаемая почва			
Сумма солей, %	0,025	0,068	0,087
Водорастворимый Na, ммоль-экв/100 г почвы	0,05	0,16	0,34
Водорастворимый сульфат-ион, ммоль-экв/100 г почвы	0,18	0,49	0,62
Орошаемая почва			
Сумма солей, %	0,364	0,348	0,162
Водорастворимый Na, ммоль-экв/100 г почвы	2,48	2,17	0,91
Водорастворимый сульфат-ион, ммоль-экв/100 г почвы	2,56	2,35	1,66

Влияние длительного интенсивного орошения водой нейтрального типа с минерализацией 1,94 г/л на темно-каштановую почву

Показатель	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Неорошаемая почва					
Сумма солей, %	0,047	0,066	0,077	0,098	0,142
Водорастворимый Na, ммоль-экв/100 г почвы	0,21	0,19	0,20	0,31	0,53
Водорастворимый Cl, ммоль-экв/100 г почвы	0,12	0,16	0,21	0,43	0,67
Орошаемая почва					
Сумма солей, %	0,070	0,073	0,099	0,162	0,267
Водорастворимый Na, ммоль-экв/100 г почвы	0,45	0,40	0,63	1,12	2,43
Водорастворимый Cl, ммоль-экв/100 г почвы	0,41	0,52	0,67	1,06	2,15

В результате аккумуляции в почвенном профиле водорастворимых солей, поступающих с поливной водой, формируются в той или иной степени засоленные почвы. Особенно активно протекает засоление почв при подъеме уровня грунтовых вод выше критического уровня (Зайдельман, 2014; Минашина, 2009; Панкова, 2008; Cucci, Lacolla, 2013; Farhadi Macheqroshti и др., 2017; Lekakis, Antonopoulos, 2015). В этом случае на участках с испарительным гидроморфным режимом в пахотных горизонтах почв происходит аккумуляция не только легкорастворимых солей, но также гипса и карбонатов (табл. 8.2.6).

Их источником являются как сами грунтовые воды, так и гипсово-карбонатные аккумуляции, расположенные в глубоких слоях почв, которые при автоморфных условиях не оказывают практически никакого влияния на верхнюю часть почвенного профиля. При подъеме уровня грунтовых вод они, проходя через карбонатные и гипсоносные слои, насыщаются CaSO_4 и CaCO_3 . Последние, при испарении влаги с поверхности почв, выпадают в осадок, накапливаясь, таким образом, в верхней части профиля почв в заметных количествах. Вторичное засоление почв в результате подъема уровня грунтовых вод или поступления солей с поливной водой представляет большую проблему. По имеющимся данным в результате засоления в мире ежегодно теряется до 10 млн. га орошаемых земель (Brinck, Frost, 2009).

Содержание легкорастворимых солей в слое 0-2 м, карбонатов в слое 0-20 см и встречаемость вторичных локальных аккумуляций гипса в черноземе в зависимости от мелиоративных условий
(Рысков, Гулов, 1987).

Почва, уровень грунтовых вод (УГВ)	Содержание ионов, мг-экв/100 г почвы				Встречаемость аккумуляций гипса, %		CaCO ₃ , %
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	слой 0-10 см	слой 0-20 см	
Чернозем неорошаемый, УГВ 10 м	0,55	0,09	0,13	0,10	Нет	Нет	0,32
Чернозем орошаемый, УГВ 3-7 м	0,60	0,14	0,18	0,16	63	63	0,30
Чернозем орошаемый, УГВ 2-3 м	-	-	-	-	64	79	0,68
Чернозем орошаемый, УГВ < 2 м	0,55	0,75	5,10	3,15	60	100	2,0-5,0

Как следствие засоления в почвенном растворе орошаемых почв существенно возрастает содержание ионов натрия, и создаются реальные предпосылки для развития процесса осолонцевания.

При орошении минерализованными водами с содержанием солей более 1 г/л практически повсеместно происходит увеличение количества обменных натрия и магния в ППК орошаемых почв (Лозовицкий, 2005; Мамонтов, 2013; Минашина, 2011; Розанов и др., 1989; Cucci, Lacolla, 2013; Herrero, Pérez-Coveta, 2005; Kirankumar и др., 2015; Lekakis, Antonopoulos, 2015).

В результате этого исходные несолонцеватые почвы переходят в разряд слабо-, средне- и сильносолонцеватых почв, в почвенном поглощающем комплексе которых заметно возрастает доля обменных натрия и магния (табл. 8.2.7).

Очень быстрое негативное влияние оказывают на почвенный поглощающий комплекс низкоминерализованные (≈ 1 г/л) оросительные воды щелочного типа, содержащие свободные гидрокарбонаты и карбонаты натрия (табл. 8.2.8).

Таблица 8.2.7

Влияние длительного орошения минерализованной водой хлоридно-натриевого типа с минерализацией 1,54 г/л на физико-химические свойства темно-каштановой почвы

Горизонт	рН	Обменные катионы					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		мг-экв/100 г почвы			% от емкости обмена		
Неорошаемая почва							
0-20	7,2±0,1	16,04±0,12	4,25±0,13	0,46±0,05	77,3	20,5	2,2
20-40	7,2±0,1	16,12±0,20	4,33±0,19	0,48±0,03	77,0	20,7	2,3
40-60	7,3±0,1	16,49±0,24	5,36±0,31	0,50±0,05	73,8	24,0	2,2
Орошаемая почва							
0-20	7,3±0,1	14,36±0,21	4,36±0,05	0,92±0,03	73,1	22,2	4,7
20-40	7,3±0,1	14,23±0,19	5,33±0,08	0,94±0,06	69,4	26,0	4,6
40-60	7,4±0,1	15,80±0,17	5,29±0,13	0,86±0,06	72,0	24,1	3,9

Таблица 8.2.8

Влияние 4-летнего орошения минерализованной водой щелочного типа на физико-химические свойства темно-каштановой почвы

Горизонт	рН	Обменные катионы					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		мг-экв/100 г почвы			% от емкости обмена		
Неорошаемая почва							
Апах	7,1±0,1	19,2±0,4	7,9±0,3	0,5±0,1	69,6	28,6	1,8
B ₁	7,1±0,1	19,8±0,3	7,7±0,3	0,7±0,1	70,2	27,3	2,5
B ₂	7,4±0,2	19,5±0,5	7,7±0,4	0,7±0,1	69,9	27,6	2,5
Орошаемая почва, минерализация воды 1,17 г/л, рН = 8,5							
Апах	7,8±0,3	17,3±0,6	8,7±0,3	2,8±0,3	60,1	30,2	9,7
B ₁	7,8±0,4	18,8±0,6	8,7±0,4	2,2±0,3	63,3	29,3	7,4
B ₂	7,6±0,2	19,0±0,5	7,7±0,3	0,9±0,1	68,8	27,9	3,3

При использовании для орошения минерализованных вод щелочного типа происходит внеконкурентное поглощение натрия почвенными коллоидами вследствие осаждения кальция в виде CaCO₃ и заметное ухудшение физико-химических свойств орошаемых почв, обусловленное подщелачиванием среды и развитием солонцового процесса (Панов, Мамонтов, 2001; Brinck, Frost, 2009). Уже через несколько лет орошения такими водами содержание обменного натрия достигает 10-15% от емкости обмена и более.

В наиболее яркой форме негативные последствия орошения минерализованными водами проявляются при экстенсивном использовании орошаемой пашни. В этом случае в результате ненормированных поливов водой плохого качества, отсутствия превентивных мелиоративных мероприятий, несбалансированного применения удобрений, отсутствия в севообороте многолетних трав очень быстро, в течение 3-5 лет орошения, происходит засоление и осолонцевание орошаемых почв. Из незасоленных и несолонцеватых они переходят в той или иной степени засоленные и солонцеватые почвы. В настоящее время 23% и 39% обрабатываемых земель считаются засоленными и солонцовыми (Essington, 2004; Qadir и др., 2006).

Большое влияние оказывает орошение на органическую часть почвы, что обусловлено изменением гидротермического режима и связанного с этим характера функционирования почвенных микроорганизмов. Возрастает их численность и удлиняется период активного функционирования, происходит смена популяций и в том числе активизируется нетипичная для почв засушливых регионов анаэробная микрофлора (Андреюк и др., 1988; Лозовицкий, 2012; Мамонтов, 2013; Панов, Мамонтов, 2001) . При этом на гумусовое состояние почв большое влияние оказывает характер использования орошаемой пашни. В случае интенсивного орошения даже благоприятными по химическому составу водами гумусовое состояние орошаемых почв может ухудшаться (табл. 8.2.9).

Таблица 8.2.9

Влияние длительного орошения пресной водой на состав гумуса черноземов южных, % от массы почвы (Пильгунова, Григорьева, 1983).

Горизонт, глубина, см	С _{общ} , %	С _{гк}	С _{фк}	Гумин	С _{гк} /С _{фк}
Черноземы неорошаемые					
Апах 0-30	1,90	1,05	0,39	0,47	2,69
АВ 30-61	0,99	0,49	0,18	0,23	2,72
Черноземы орошаемые 19 лет					
Апах 0-31	1,54	0,61	0,59	0,38	1,15
АВ 31-59	0,86	0,28	0,36	0,19	0,77

Как видно из данных табл. 8.2.9 в результате 19-летнего орошения пресной гидрокарбонатно-кальциевой водой с минерализацией 0,7 г/л гумус черноземов южных в пахотном слое из гуматного трансформировался в фульватно-гуматный за счет увеличения в его составе доли фульвокислот. В нижележащих горизонтах он стал гуматно-фульватным. Произошло это по данным авторов за счет заметного уменьшения количества гуматов кальция и гуминовых кислот, прочносвязанных с глинистыми минералами, уменьшилась также и величина гумина.

Особенно отчетливо негативное влияние длительного орошения на содержание и запасы гумуса проявляется на фоне низких доз органических и минеральных удобрений и преимущественного использования пашни в овощных и зерно-пропашных севооборотах. Интенсивные поливы активизируют процессы обессоливания, выщелачивания и декальцирования почв, что ухудшает их кальциевый режим и на фоне высокой микробиологической и ферментативной активности в почву поступает недостаточное количество свежих растительных остатков. Все это приводит к тому, что при недостатке активного кальция в почвенном растворе, возрастает подвижность гумусовых веществ, особенно новообразованных. При дефиците свежего органического вещества в виде растительных остатков активно функционирующая микрофлора утилизирует гумусовые соединения почвы, что ведет к обеднению орошаемых почв гумусом и изменению его качественного состава.

Особенно быстро неблагоприятные изменения с органическим веществом орошаемых почв происходят при использовании для полива минерализованных вод щелочного типа (табл. 8.2.10).

В данном случае биохимические факторы негативной трансформации гумусового состояния почв усиливаются отрицательным влиянием на процесс гумусообразования осолонцевания и засоления орошаемых почв. В результате этого за сравнительно непродолжительное время в орошаемых почвах снижаются содержание и запасы гумуса, уменьшается содержание

гумина, что может свидетельствовать об ослаблении связи гумусовых веществ с минеральной частью почвы. Происходит не только снижение содержания гуминовых кислот, но и неблагоприятные изменения их состава и свойств, в результате чего они теряют значительную часть своих лабильных компонентов, несущих азотсодержащие группировки, обогащаются инертными циклическими компонентами и утрачивают свою клеящую способность. Особенно быстро ухудшение гумусового состояния орошаемых почв происходит при использовании для полива минерализованных вод щелочного типа.

Таблица 8.2.10

Влияние орошения минерализованной водой на органическое вещество темно-каштановой почвы, % от массы почвы

Горизонт, глубина, см	Содержание гумуса, %	Запасы гумуса, т/га	Сгк	Сфк	Гумин	Сгк/Сфк
Неорошаемая почва						
A _{пах} 0-20	2,53	61	0,51	0,25	0,71	2,04
B ₁ 20-40	1,89	48	0,36	0,19	0,54	1,89
Орошаемая почва, минерализация поливной воды 1,17 г/л, рН 8,5						
A _{пах} 0-20	2,02	50	0,38	0,26	0,53	1,46
B ₁ 20-40	1,72	44	0,31	0,23	0,46	1,35

8.2.2. Особенности изменения физических свойств почв в условиях орошения

Неблагоприятные изменения химических и физико-химических свойств орошаемых почв отрицательным образом влияют на их физические свойства. В первую очередь в орошаемых условиях происходит негативная трансформация почвенной структуры (табл. 8.2.11).

Проявляется это в увеличении глыбистости, снижении количества агрономически ценных и водоустойчивых агрегатов и уменьшении их средневзвешенного диаметра. В наибольшей мере неблагоприятные

изменения почвенной структуры выражены при экстенсивном использовании орошаемых земель и применения для полива минерализованных вод (Мамонтов, 2013; Cockroft, Olsson, 2000; Emdad и др., 2006). Негативная трансформация почвенной структуры сопровождается появлением и накоплением водопептизируемого ила. Наличие в орошаемых почвах тонкодисперсных частиц легко пептизирующихся водой оказывает отрицательное влияние на их физические свойства (Мамонтов, 2013; Чижикова и др., 2011).

Таблица 8.2.11

Изменение агрегатного состояния и содержания водопептизируемого ила в черноземе и темно-каштановой почве под влиянием орошения

Средневзвешенный диаметр агрегатов > 0,25 мм (мм)	Средневзвешенный диаметр агрегатов 0,25-10 мм (мм)	Сумма агрономически ценных агрегатов, %	Коэффициент структурности	Сумма водоустойчивых агрегатов, %	Средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов, мм	Водопептизируемый ил, %
Чернозем неорошаемый						
5,38	4,13	70,0	2,3	73,8	1,07	1,1
Чернозем орошаемый пресной водой, севооборот с многолетними травами						
5,71	3,16	53,0	1,1	65,3	0,86	2,5
Чернозем орошаемый пресной водой, бессменная кукуруза						
6,33	2,37	35,8	0,6	57,6	0,75	3,3
Темно-каштановая неорошаемая почва						
4,18	2,68	64,1	1,8	48,7	1,05	3,07
Темно-каштановая почва, минерализация воды 1,54 г/л, севооборот с многолетними травами						
4,84	1,74	41,2	0,7	37,5	0,68	6,89
Темно-каштановая почва, минерализация воды 1,54 г/л, бессменная озимая пшеница						
5,60	1,49	32,3	0,5	26,0	0,60	8,16

К числу причин, вызывающих деградацию структуры орошаемых почв, следует отнести разрушающее воздействие на почву поливной воды при продолжительных и интенсивных поливах, разрушающее действие заземленного в агрегатах воздуха при интенсивных поливах сухих почв, неумеренное использование тяжелой сельскохозяйственной техники, обработку почв в состоянии повышенной влажности, пептизирующее

действие ионов натрия, содержащихся в поливной воде, неблагоприятный режим кальция, минерализацию органических веществ, скрепляющих агрегаты и экстенсивное использование орошаемой пашни.

Деградация почвенной структуры может быть обусловлена изначально низкой устойчивостью почв к воздействию ирригации, что определяется их генетическими особенностями. Негативные изменения, происходящие на агрегатном уровне организации почвы, сопровождаются увеличением плотности сложения орошаемых почв. Пахотные горизонты неорошаемых черноземов и каштановых почв имеют плотность сложения, как правило, в пределах 1,1-1,25 г/см³. При орошении плотность сложения со временем возрастает до 1,30-1,45 г/см³ и выше, а уплотнение распространяется вглубь почвенного профиля до 50-80 см. (Гурбанов, 2010; Дубовик, 2012; Мамонтов, 2013; Cockroft, Olsson, 2000; Emdad и др., 2006).

Совокупное проявление обесструктурирования, переуплотнения и оглинивания сопровождающееся увеличением гидрофильности тонкодисперсных частиц при склонности почв к типсотропному разжижению со временем может перерасти в слитизацию – процесс, не поддающийся однозначной диагностике, но периодически проявляющийся в орошаемых почвах и свидетельствующий о крайней степени их физической деградации.

В орошаемых почвах отмечается и изменение минералогического состава, обусловленное переходом минералов группы монтмориллонита и смешанослойных слюда-сметитовых компонентов в супердисперсное состояние, что способствует их более активному разрушению, особенно при использовании для полива щелочных вод. Наблюдается и такое явление как гидрослюдизация илистой фракции (Чижикова и др., 1992), что наряду с дегумификацией приведет к уменьшению емкости их обмена.

Обычно в орошаемых почвах развитие одного вида деградации становится причиной неблагоприятных изменений других свойств почвы. Так, например, дегумификация способствует уменьшению емкости катионного обмена и ухудшению структурного состояния почвы, поскольку

гумусовые вещества являются одним из главных агрегирующих агентов почвенной массы. Осолонцевание сопровождается диспергирование почвенной массы, разрушением почвенной структуры и способствует дегумификации почв, поскольку возрастает растворимость гумусовых веществ, и они становятся более доступными микроорганизмам.

Выводы

1. Вовлечение пахотных почв в орошаемое земледелие сопровождается существенным изменением условий почвообразования, что отражается на свойствах и режимах орошаемых почв.

2. Орошение доброкачественными пресными водами не вызывает существенного изменения физико-химических свойств орошаемых почв, однако при интенсивных поливах происходит некоторое обессоливание почвенного раствора и уменьшение в его составе отношений Ca/Na и Ca/Mg+Na. При орошении минерализованными водами, особенно щелочного типа, происходит отчетливо выраженное засоление и осолонцевание орошаемых почв.

3. Интенсивное орошение, особенно минерализованными водами, в условиях экстенсивного использования орошаемой пашни сопровождается снижением содержания и запасов гумуса, ухудшением его качественного состава и ослаблением прочности связи гумусовых кислот с минеральной частью почвы.

4. Под влиянием орошения ухудшается структурное состояние орошаемых почв, что проявляется в увеличении глыбистости, снижении количества агрономически ценных и водоустойчивых агрегатов и уменьшении их средневзвешенного диаметра. Наиболее ярко обесструктурирование проявляется в условиях бессменной культуры и использования для орошения минерализованных вод. При этом в верхней

части профиля орошаемых почв возрастает содержание тонкодисперсных частиц, в том числе и водопептизируемого ила, относительное содержание которого в пахотных горизонтах черноземов не превышает 10 %, а в темно-каштановых почвах достигает 27-32 %, что в последующем может привести к развитию лёссаважа.

8.3. ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ: МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ И ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Почва составляет неотъемлемую часть биогеоценоза, взаимодействуя с компонентами фитоценоза – древостоем и нижними ярусами растительности (подростом, подлеском и живым напочвенным покровом) и сама находится под их постоянным воздействием (Наумов, Поляков, 2009).

О роли влияния отдельных древесных пород на свойства почв опубликовано значительное количество работ (Гаврилов, 2000; Демин, 1997; Зайцев, 1964; Зонн, 1954; Карпачевский, 1997; Ремезов, 1953; Ткаченко и др., 1939). В настоящее время исследователи по-разному оценивают влияние древесной растительности на почву. Л.О. Карпачевский и М.Н. Строганова (1989) ставят вопрос о том, что является первичным: изменение почв под влиянием древесной растительности, или, наоборот, происходит дифференциация древесной растительности в зависимости от свойств почв. При этом Л.О. Карпачевский (1999) выделяет два аспекта изучения влияния древесных пород на почвообразование: 1) влияние древесных растений в чистых насаждениях; 2) суммарное влияние в смешанных древесных насаждениях. В работах К.А. Гаврилова (2000), Г.В. Демина (1997) подтверждено, что при прочих равных условиях (климат, положение на рельефе, генезис и гранулометрический состав почвообразующей породы) наблюдается существенная разница в морфологии и химических свойствах почвы под различными лесными культурами. М.И. Герасимова, Л.Б.

Исаченкова (2008), Л.О. Карпачевский (1981), Ю.П. Демаков, А.В. Исаев (2009), В.Д. Наумов, А.Н. Поляков (2009) отмечают, что под влиянием древесных растений в почве происходит изменение тех признаков, которые характеризуют современное течение почвообразования, отражающееся на динамических свойствах почв: величине рН, степени насыщенности основаниями, биогенном накоплении некоторых зольных элементов и т.д.

Л.О. Карпачевским (1999) указывается, что лесные насаждения изменяют свойства почв, делая их лучшими в лесорастительном отношении. Однако несмотря на то, что почвенный покров в лесу динамичен и постоянно меняет свое строение, конфигурацию и композицию, распределение почв по таксономическим рангам сохраняется. Н.В. Лукина с соавторами (2010) отмечают, что деревья являются так называемыми экосистемными инженерами, т.к. именно они формируют вывальную-мозаичную структуру лесного сообщества. По мнению А.Н. Геннадиева и др. (1992), М.И. Герасимовой, Л.Б. Исаченкова (2008), каждой стадии сукцессии древесной растительности соответствуют определенные почвы, которые различаются, прежде всего, верхними горизонтами. В процессе почвообразования в профилях почв, их строении и свойствах запечатлеваются результаты многих разнокачественных элементарных процессов. Функционирование почвенных горизонтов сопровождается не только межгоризонтным обменом веществ за счет биологического круговорота, миграции растворов или суспензий, но и влиянием временного периода, а также других факторов и условий. Горизонты, слагающие почвенный профиль, являются достаточно автономными элементами педосферы. По мнению И.И. Лебедевой, В.Д. Тонконогова (2008), органогенные горизонты в основном являются носителями ближней памяти, связанной с потенциалом современной внешней среды. Элювиальные и срединные горизонты хранят информацию о свойствах литоматрицы и преобразованном в процессе почвообразования субстрате и потому являются носителями преимущественно дальней памяти,

связанной с особенностями почвообразования в условиях климата и биоты прошлых эпох.

В.Н. Карминов (2003) отмечает, что, несмотря на то, что почвенные характеристики в большей степени являются консервативными, возрастные изменения растительности заметно изменяют её свойства преимущественно верхних горизонтах почвенного профиля.

Верхние горизонты почв в наибольшей степени подвержены влиянию изменения тепла и влаги как по годам, так и по сезонам. Их формирование зависит от особенностей поступления опада и отпадающей части древостоя, их количества, характера и скорости разложения органического вещества, особенностей процессов гумификации. Почвообразование затрагивает, главным образом верхнюю толщу почв, в которой проявляется динамизм и направленность процесса почвообразования.

М.И. Герасимова, Л.Б. Исаченкова (2008), Л.О. Карпачевский (1999), Ю.П. Демаков, А.В. Исаев (2014), В.Д. Наумов, Каменных (2020) отмечают, что под влиянием древесных пород в почве происходит изменение тех признаков, которые характеризуют современное течение почвообразования, отражающееся на динамических свойствах почв: величине рН, степени насыщенности основаниями, биогенном накоплении некоторых зольных элементов и т.д. Вместе с тем под влиянием почвообразовательных процессов меняется и мощность генетических горизонтов почвенного профиля.

А.В. Юреня и Д.И. Янутенок (2009) исследовали влияние состава сосновых насаждений на содержание гумуса и кислотность в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв. По результатам исследования отмечено, что содержание гумуса в почвах, на которых располагаются сосново-березовые и сосново-еловые насаждения, выше, чем в чистых сосновых насаждениях при аналогичных почвенно-грунтовых условиях. Смешанные сосново-березовые фитоценозы характеризуются пониженной кислотностью гумусового горизонта, а смешанные сосново-еловые, несмотря

на повышенное содержание гумуса в почве, имеют повышенную кислотность гумусового горизонта.

А.В. Юрениа с соавторами (2010), оценивая взаимосвязь свойств почв, продуктивности и породного состава лесных культур отмечают, что дуб в смешанных дубово-еловых насаждениях способствует увеличению содержания гумуса в почве. Авторы указывают, что в этом случае наблюдается закономерное снижение кислотности почв.

8.3.1. Характеристика объекта исследования

Лесная опытная дача расположена в северо-западной части города Москвы, занимает юго-западную часть землепользования Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА). Площадь ЛОД представляет собой почти правильный вытянутый с северо-запада на юго-восток прямоугольник длиной 2,8 км и шириной 1,6 км. По почвенно-географическому районированию территория ЛОД входит в Европейско-Западно-Сибирскую таежно-лесную континентальную область, в зону южной тайги дерново-подзолистых почв.

Территория объекта расположена в пределах Центрально-московского структурно-геоморфологического блока, представляющего собой пологое куполообразное поднятие изометрических очертаний. Интересной особенностью территории ЛОД является отсутствие «покровных» отложений (суглинков) верхнего плейстоцена, весьма характерных для остальной части города, за исключением восточной его части (Даньшин, 1947).

Рельеф территории ЛОД – моренно-равнинный. Почвообразующие породы представлены моренными отложениями различного гранулометрического состава.

8.3.2. Методы исследования

Морфогенетическая и лесорастительная оценка почвенного покрова ЛОД была исследована на примере 38 постоянных пробных площадях, на которых заложены почвенные разрезы глубиной 150-220 см. На территории ЛОД почвы дерново-подзолистые, различающиеся по степени и интенсивности выраженности дернового, подзолистого и глеевого процессов. В южной тайге теплый и влажный климат способствует энергичной деятельности микроорганизмов и почвенной фауны, что обеспечивает достаточно интенсивный биологический круговорот веществ. В условиях промывного типа водного режима процессы элювиирования преобладают над процессами аккумуляции, идёт активный процесс выщелачивания оснований. Образуются кислые гумусовые соединения из-за невысокой скорости минерализации органического вещества. На фоне господствующего подзолистого процесса протекает дерновый почвообразовательный процесс, который приводит к формированию гумусового горизонта. Проявление дернового почвообразовательного процесса связано с изменением состава древесных пород (большее участие лиственных пород), наличия травянистого наземного растительного покрова, имеющего более высокую зольность, что способствует закреплению части гумусовых веществ. Несмотря на то, что травянистая растительность под лесом даёт богатый основаниями отпад по сравнению с опадом хвойных пород, вместе с тем их зольность недостаточно высокая. Лишь небольшая часть гумусовых веществ закрепляется в почве биогенным кальцием, железом или глинистыми минералами. Поэтому в гумусово-элювиальном горизонте большое количество гумуса не накапливается, а в профиле почв хорошо выделяется по морфологии и свойствам подзолистый горизонт А2 (Наумов и др., 2020).

В настоящее время в почвоведении широко используется понятие о «диагностических» горизонтах (Шишов и др., 2004). Согласно этой концепции именно такие горизонты могут быть использованы для целей

диагностики почв. Полученные в процессе изучения почв ЛОД данные свидетельствуют о том, что учет только «диагностических» горизонтов недостаточен, чтобы судить об интенсивности и направленности почвообразовательных процессов. Учет вспомогательных (переходных) горизонтов, позволяют более точно судить о том, в каком направлении идет эволюция почвенного профиля. В условиях господства подзолистого процесса, ниже гумусово-элювиального горизонта А1 в дерново-подзолистых почвах часто располагается горизонт А1А2, который по своей морфологии в большей степени чаще отражает особенности ниже расположенного горизонта А2. Однако на исследованных нами дерново-подзолистых почвах ЛОД выявлена другая закономерность, когда горизонт А1А2 по морфологическим признакам, по содержанию гумуса приближается к гумусово-элювиальному горизонту А1. В связи с этим, мы разделяем точку зрения Б.Г. Розанова (2004), который считает, что недостаточно в целях диагностики использовать только «диагностический горизонт», диагностическим должен быть почвенный профиль в целом.

Почвенное обследование территории Лесной опытной дачи выявило специфику дерново-подзолистых почв – мощный гумусовый горизонт, который часто состоит из двух горизонтов (А1+А1А2). При этом в горизонте А1А2 содержание гумуса может значительно превышать 1%, а качественный состав (Сг.к:Сф.к.) приближается к 1.

Общеизвестна роль содержания гумуса и мощности гумусового горизонта в питании растений и их продуктивности. Однако в общепринятых (Егоров и др., 1977) классификационных характеристиках вида почв, как правило, оценивается только лишь мощность гумусового слоя с градацией (<10; 10-15;>15 см), что не позволяет в полной мере оценить проявления дернового почвообразовательного процесса при оценке лесных почв ЛОД, когда мощность гумусового горизонта может достигать 40 см и более. Наличие этого факта потребовало внести изменение в классификацию названий почв. Так, при определении видов почв учитывалась специфика

строения дерново-подзолистых почв, проявляющаяся в «растянутом» гумусовом горизонте ($A_1+A_1''(A_1A_2)$), большой глубиной нижней границе подзолистого горизонта, наложением на профиль почв глеевого процесса. При этом оценку проявления подзолистого процесса, которая проводится по нижней границе подзолистого горизонта, дополнить мощностью и интенсивностью его проявления. В связи с этим использовались следующие параметры классификационных признаков. По мощности гумусового горизонта ($A_1+A_1''(A_1A_2)$): крайне мелкие – <10 см, мелкие – 10-15 см, слабодерновые – 15-20 см, среднедерновые – 20-25 см, мощнодерновые – 25-35 см, глубокодерновые – >35 см. По интенсивности проявления подзолистого процесса определялась мощность подзолистого горизонта: слабоподзолистые – не более 5 см, среднеподзолистые – 5-15 см, сильноподзолистые – >15 см. По глубине оподзоливания (по нижней границе A_2 от нижней границы A_0): поверхностноподзолистые – <10 см, мелкоподзолистые – 10-20 см, неглубокоподзолистые – 20-30 см, глубокоподзолистые – 30-45 см, сверхглубокоподзолистые – >45 см. По мощности и интенсивности проявления подзолистого процесса: A_{21} -слабоподзолистые (выражен пятнами, не более 5 см), A_{22} -среднеподзолистые (5-15 см, сплошной, плитчато-комковатой, плитчатый структуры), A_{23} – сильноподзолистые (более 15 см, сплошной, рассыпчато-листоватой или чешуйчатой структуры). По глубине оглеения: глубоко-глееватые, поверхностно-глееватые, профильно-глееватые.

8.3.3. Экспериментальная часть

Лесная опытная дача расположена на плоском водораздельном моренном холме с очень пологим склоном на юго-запад (в среднем на 1 погонный метр приходится 0,01 м падения) и с более крутым склоном на северо-восток. Наиболее высокая часть этого холма составляет 175 м над

уровнем моря и находится посередине между VII и XI кварталами. Самая низкая часть составляет 160 м над уровнем моря и находится в северной части ЛОД на территории I и III кварталов. (рис.8.3.1)

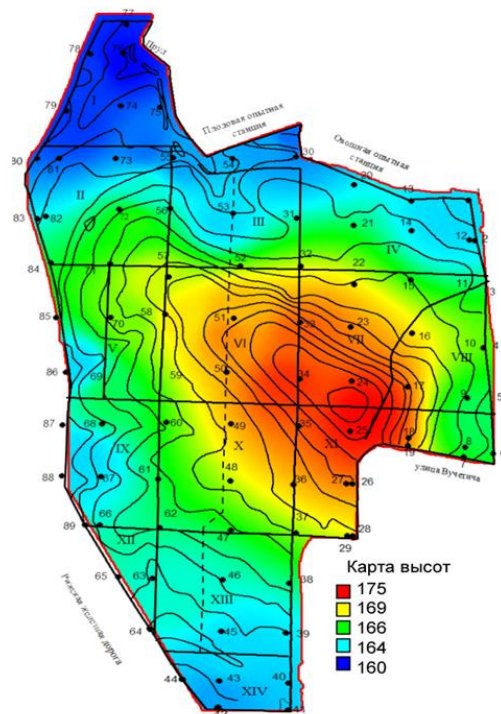


Рисунок 8.3.1 – Высотные отметки территории ЛОД

Водораздельные поверхности, расположенные на территории ЛОД ТСХА повсеместно занимают площадь – 108,3 га они характеризуются минимальными уклонами поверхности. Так же на территории присутствуют склоны различной формы и крутизны: выпуклые 1-2°, занимают площадь- 20,5 га, выпуклые 2-3° (1,2 га), прямые 1-2° (13,2 га), прямые 2-3° (20,4 га).

Анализ геоморфологических условий показал, территория ЛОД представлена сочетанием среднеплейстоценовых, поздне-среднеплейстоценовых и позднеплейстоцен-голоценовых генетических типов поверхностей, которые образовались в результате процессов аккумуляции отложений ледника и потоков талых ледниковых вод. Были выделены следующие поверхности:

1. Поверхности среднеплейстоценовые:

-Аккумулятивные, ледникового генезиса (моренные). Представлены субгоризонтальной вершиной моренного холма и склонами моренного холма высотными отметками от 166 до 175 м.

-Аккумулятивные, водно-ледникового генезиса. Представлены горизонтальными поверхностями камовых террас и субгоризонтальными поверхностями водно-ледниковой равнины с высотными отметками от 160 до 172 м.

2. Поверхности поздне-среднеплейстоценовые:

-Полигенетические наклонные поверхности циркообразных понижений с высотными отметками от 164 до 169 м.

3. Поверхности позднеплейстоцен-голоценовые:

-Наклонные и горизонтальные поверхности долинообразных понижений с высотными отметками от 160 до 164 м.

4. Поверхности водно-ледниковой равнины вместе с моренным холмом определяют основные особенности рельефа ЛОД. Субгоризонтальная вершина моренного холма имеет максимальную высоту поверхности 175 м (сильно смещена к востоку), на запад поверхность вершины холма ступенчато снижается до отметок 166 м. Горизонтальные поверхности камовых террас, расположенных на южном склоне моренного холма, имеют абсолютные отметки 171 – 172 м, 168 – 169 м, 166 – 170 м. Субгоризонтальные поверхности водно-ледниковой равнины на севере и юге постепенно снижаются до отметок 160 м над уровнем моря.

Еще в середине прошлого столетия уровень грунтовых вод при средней для Лесной опытной дачи (ЛОД) высоте над уровнем моря 166 м находился на глубине 5 м; при высоте 172 м – на глубине 10 м. Выход грунтовых вод на поверхность наблюдался на высоте 162 м над уровнем моря в заболоченном участке квартала I и в виде ключей в квартале III (истоки р. Жабенки). Однако в 70-х годах, в связи с перекрытием русла р. Жабенки, началось подтопление территории, в результате которого значительная часть почв ЛОД имеет признаки оглеения. Наиболее ярким примером является

значительная площадь с погибшими деревьями в северо-восточной части IV квартала.

Неблагоприятная гидрологическая обстановка осложняется и спецификой почвообразующих пород, представленных моренными отложениями от песчаного до среднесуглинистого гранулометрического состава.

Древесные насаждения ЛОД представлены 38-ю постоянными пробными площадями, представлены преимущественно лесными культурами (28 площадей) и 10-ю – древостоями естественного происхождения. По породному составу, пробные площади представлены чистыми хвойными (ПП: IV-О, IV-Е, VII-П, VII-Р, V-Ж), чистыми лиственными (VIII-О, VIII-З), а остальные пробные площади – смешанными древостоями, в которых преобладают хвойные породы. По форме древостои преимущественно простые, исключение составляют четыре пробные площади, в которых выделено два яруса (VII-П, VIII-З, V-М4, IV-Е). По уровням продуктивности (бонитету) древостои на пробных площадях распределены следующим образом: пять пробных площадей относятся – к I^b классу бонитета; четыре - к I^a; девять к I; остальные ко II классу бонитета. Так как древостои на постоянных пробных площадях имели разный возраст, а бонитет по шкале профессора М.М. Орлова был указан при каждом перечете деревьев, то данные о средней высоте конкретного древостоя были интерполированы для заданных значений возраста – 40, 70 и 100 лет.

Почвенный покров ЛОД представлен дерново-подзолистыми почвами, различающимися по проявлению дернового, подзолистого и глеевого процессов. Выявлена определенная закономерность между строением дерново-подзолистых почв и геоморфологическими поверхностями различного генезиса, что проявляется в степени выраженности дернового, подзолистого почвообразовательных процессов и процесса оглеения. Различается почвенный покров и по гранулометрическому составу почв и почвообразующих пород (табл. 8.3.1).

Почвенно-таксационная характеристика пробных площадей

№ квартала	Пробная площадь	Состав древостоя	Происхождение	Класс бонитета	Высотная отметка в рельефе, м	Классификационное название почвы
IV	М	9С1Лп	искусственное	2	166,1	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно – сверхглубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке. Пд_{5-3/5}лсМс
IV	Ф	9С1Е	искусственное	2	165,4	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном легком суглинке. Пд_{5-3/5}лсМлс
IV	Л	9С1Лп	искусственное	2	166,9	Дерново-подзолистая среднедерновая сильно-глубокоподзолистая глубоко-глееватая легкосуглинистая на супесчаных моренных отложениях. Пд^{Гл1}_{4-3/4}лсМс
IV	Р	8С1Б1Е	искусственное	2	168,1	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистая супесчаная на моренном легком суглинке. Пд_{5-3/5}сМлс
IV	З	6С2Б1Лп 1Д	искусственное	1	165,4	Дерново-подзолистая мощнодерновая мелко - глубокоподзолистая глубоко-глееватая легкосуглинистая на моренном легком суглинке. Пд^{Гл1}_{5-2/4}лсМлс
IV	И	8С2Лп	искусственное	2	168,1	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистая супесчаная на моренном легком суглинке. Пд_{5-3/5}сМлс
IV	К	9С1Лп	искусственное	2	167,8	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно – сверхглубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке. Пд_{5-3/5}лсМс
IV	В	9С1Лп	искусственное	2	165,7	Дерново-подзолистая глубокодерновая сильно – сверхглубокоподзолистая глубоко-глееватая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке. Пд^{Гл1}_{6-3/5}лсМс
IV	С	7С2Е1В	искусственное	2	166,8	Дерново-подзолистая среднедерновая сильно-глубокоподзолистая глубоко-глееватая легкосуглинистая на супесчаных моренных отложениях. Пд^{Гл1}_{4-3/4}лсМс
IV	У	9С1Е	искусственное	2	165,8	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно – сверхглубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке Пд_{5-3/5}лсМс
IV	О	10С	искусственное	2	165,4	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном легком суглинке. Пд_{5-3/5}лсМлс
IV	Ю	5С5Лп	искусственное	2	165,7	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно-глубокоподзолистая среднесуглинистая на моренном легком суглинке. Пд_{5-3/4}сМлс
VI	Ц	5О5Лп	искусственное	1	170,7	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном песке. Пд_{5-3/5}лсМп
V	Д	5С5Лп	искусственное	2	168,1	Дерново-подзолистая глубокодерновая сильно – сверхглубокоподзолистаяпрофильно - глееватая легкосуглинистая на моренном песке. Пд^{Гл3}_{6-3/5}лсМп
V	В	6Лп4С	искусственное	1	168,6	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистаяпрофильно - глееватая легкосуглинистая на моренном песке. Пд^{Гл3}_{5-3/5}лсМп

Продолжение таблицы 8.3.1

№ квартала	Пробная площадь	Состав дровостоя	Происхождение	Класс бонитета	Высотная отметка в рельефе, м	Классификационное название почвы
VII	П	10Л	искусственное	1 б	172,8	Дерново-подзолистая мощнодерновая средне - глубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном легком суглинке. Пд_{5-2/4}лсМлс
VII	Р	10Л	искусственное	в	173,4	Дерново-подзолистая мощнодерновая слабо - глубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном легком суглинке. Пд_{5-1/4}лсМлс
VII	К	8С2Кл	естественное	1 б	172,8	Дерново-подзолистая средерновая средне - глубокоподзолистая профильно-глееватая среднесуглинистая, на супесчаной морене. Пд^{Гл3}_{5-2/4}лсМсп
VII	С	8Л2Лп	искусственное	1 а	172,8	Дерново-подзолистая среднедерновая средне - глубокоподзолистая среднесуглинистая на моренном среднем суглинке. Пд_{4-2/4}лсМлс
VII	Е	6Л2Кл	искусственное	1	173,9	Дерново-подзолистая мощнодерновая средне - глубокоподзолистая глубоко-глееватая легкосуглинистая, на моренном лёгком суглинке. Пд^{Гл1}_{5-2/4}лсМлс
XI	Б2	6Лп4С	искусственное	2	175	Дерново-подзолистая среднедерновая средне - глубокоподзолистая супесчаная почва на моренном песке. Пд_{4-2/4}спМп
XI	М	5Лп4Д1Б	естественное	1	169,6	Дерново-подзолистая глубокодерновая средне - глубокоподзолистая глубоко-глееватая легкосуглинистая на моренном песке. Пд^{Гл1}_{6-2/4}лсМс
VIII	Н	8Д2Лп	естественное	2	168,5	Дерново-подзолистая мощнодерновая средне - глубокоподзолистая легкосуглинистая на моренной супеси. Пд_{5-2/4}лсМсп
VIII	О	10Д	естественное	1	165,4	Дерново-подзолистая мощнодерновая средне-сверхглубокоподзолистая профильно - глееватая легкосуглинистая на моренном песке. Пд^{Гл3}_{5-2/5}лсМп
VIII	З	10Лп	естественное	1 б	170,7	Дерново-подзолистая глубокодерновая средне - глубокоподзолистая легкосуглинистая на моренном песке. Пд_{6-2/4}лсМп
V	Ж	10Л	искусственное	1 б	167,5	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно-глубокоподзолистая профильно - глееватая легкосуглинистая на моренном легком суглинке. Пд^{Гл3}_{5-2/4}лсМлс
V	У	6ЛЗБ1Кл	искусственное	1 б	167,5	Дерново-подзолистая глубокодерновая сильно-сверхглубокоподзолистая профильно – глееватая легкосуглинистая на моренных песчаных отложениях. Пд^{Гл3}_{6-3/5}лсМп
V	М4	6С4Б	искусственное	2	165,4	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно-сверхглубокоподзолистая профильно – глееватая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке. Пд^{Гл3}_{5-3/5}лсМс
IV	Э	7С2Д1Б	искусственное	2	165,4	Дерново-подзолистая глубокодерновая средне-сверхглубокоподзолистая профильно-глееватая супесчаная на моренных супесчаных отложениях. Пд^{Гл3}_{6-3/5}лсМс
IV	Ш	6Б4С	естественное	1	168,3	Дерново-подзолистая крайне мелкая сильно-глубокоподзолистая профильно-глееватая легкосуглинистая на моренном песке. Пд^{Гл3}_{1-3/4}лсМп.

Продолжение таблицы 8.3.1

№ квартала	Пробная площадь	Состав дровостоя	Происхождение	Класс бонитета	Высотная отметка в рельефе, м	Классификационное название почвы
IV	Ъ	8С1Лп1Д	естественное	1	166,4	Дерново-подзолистая глубокодерновая сильно – сверхглубокоподзолистая среднесуглинистая на среднем моренном суглинке. ПД^{6-3/5}СМс
IV	Е	10С	искусственное	2	166,6	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно-сверхглубокоподзолистая профильно - глееватая супесчаная на моренной супеси. ПД^{Гл3}_{5-3/5}спМсп.
IV	Б	9С1Лп	искусственное	1	166,7	Дерново-подзолистая среднедерновая сильно-сверхглубокоподзолистая глубоко - глееватая легкосуглинистая на моренном песке. ПД^{Гл1}_{4-3/5}лсМп.
IV	2*	5С3Д2Лп	искусственное	1	166,9	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно-глубокоподзолистая профильно – глееватая среднесуглинистая на моренном легком суглинке. ПД^{Гл3}_{5-3/4}СМлс
VI	П	6С1Б1Д1Лп1В	искусственное	1 а	170,2	Дерново-подзолистая мощнодерновая сильно - сверхглубокоподзолистая профильно-глееватая легкосуглинистая на моренном среднем суглинке. ПД^{Гл3}_{5-3/5}лсМс
VI	Ъ	9Б1Д	искусственное	1 а	171,2	Дерново-подзолистая мощнодерновая средне-глубокоподзолистая поверхностно- глееватая легкосуглинистая на моренном песке. ПД^{Гл2}_{5-2/4}лсМп
XI	Е	9Д1Лп	естественное	1	171,2	Дерново-подзолистая среднедерновая средне-неглубокоподзолистая глубоко-глееватая супесчаная на моренном песке. ПД^{Гл1}_{4-2/3}спМп
IV	Г	9Б1С	естественное	1 а	165,4	Дерново-подзолистая слабодерновая средне-сверхглубокоподзолистая профильно-глееватая легкосуглинистая на моренном песке. ПД^{Гл3}_{3-2/5}лсМп

На среднеплейстоценовых, аккумулятивных ледникового генезиса (моренных) поверхностях, на субгоризонтальной вершине моренного холма почвенный покров представлен преимущественно мощнодерновыми сильно- и среднеподзолистыми, глубокоподзолистыми, легкосуглинистыми почвами. Почвообразующие породы – моренные отложения различного гранулометрического состава: от песчаного до среднесуглинистого, главным образом, песчаного. Склоны моренного холма по классификационному названию отличаются большим разнообразием по степени выраженности дернового почвообразовательного процесса: от слабодерновых до глубокодерновых, а также наличием профилей с признаками грунтовой

глееватости. Почвы имеют гранулометрический состав от супесчаного до среднесуглинистого. Почвы горизонтальной поверхности среднеплейстоценовых камовых террас аккумулятивного водноледникового генезиса отличаются по степени проявления дернового процесса (мощно- и глубокодерновые). Почвообразующие породы представлены моренными отложениями от песчаных до среднесуглинистых. Субгоризонтальные поверхности водноледниковой равнины, по возрасту также среднеплейстоценовые, более разнообразны по проявлению дернового и подзолистого процессов, гранулометрическому составу почв и почвообразующих пород. По мощности гумусового горизонта преобладают мощно- и среднедерновые, но выделены также крайне мелкие (IV кв, ПП-Ш), глубокодерновые (IV кв, ПП-В), по проявлению подзолистого процесса – средне-, сильно-, сверхглубокоподзолистые, почвообразующие породы – от песчаных до среднесуглинистых отложений. Поверхности поздне-среднеплейстоцен-голоценовые, полигенетические, представленные наклонными поверхностями циркообразных понижений, характеризуются преимущественно дерново-подзолистыми мощнодерновыми среднеглубокоподзолистыми легкосуглинистыми почвами, сформированными на легкосуглинистых моренных отложениях. Почвы, формирующиеся на отложениях позднеплейстоцен-голоценовых представленных аккумулятивными эрозионными русловых водных потоков поверхностями (наклонными и горизонтальными) долинообразных понижений, характеризуются преимущественно глубоко- и мощнодерновыми среднеглубокоподзолистыми почвами различного гранулометрического состава. Почвообразующие породы представлены, преимущественно, супесчаными моренными отложениями.

Территория ЛОД характеризуется значительной пространственной неоднородностью литологических условий. Вершина холма, некоторая часть склонов и равнинных территорий занята суглинистыми почвами на флювиогляциальных песках и опесчаненном моренном суглинке, остальные

склоновые и равнинные участки – суглинистыми почвами на суглинистой морене. Почвы супесчаные на флювиогляциальных песках занимают склоновую часть и понижения в северо-западной и западной частях окраины ЛОД. Таким образом литолого – геоморфологические условия создают значительную неоднородность почвенного покрова и лесорастительных условий.

Для дерново-среднеподзолистых почв с различной мощностью дернового горизонта, формирующихся на мореном суглинке, древесная растительность представлена сложными сосняками, травянистый покров состоит из зеленчука (*Galeobdolon luteum*), земляники (*Fragaria vesca*), сныти (*Aegopodium podagraria*), малины (*Rubus idaeus*). Для дерново – слабо и среднеподзолистых почвы с различной мощностью дернового горизонта, сформировавшиеся на песке и супеси, древесная растительность представлена смешанными насаждениями с преобладанием хвойных пород, типичен сплошной травянистый покров с преобладанием злаков – мятлика лугового (*Poa pratensis*), полевица (*Agrostis*), реже встречаются клевер белый (*Trifolium repens*), подорожник (*Plantago*), лютик едкий (*Ranunculus acris*). Для дерново- средне- и сильноподзолистых почв с разной глубиной оглеения, формирующихся на моренных суглинистых отложениях характерна следующая растительность: первый ярус – сосна, второй ярус – дуб, подлесок-рябина и травянистая растительность представлена злаками (Градусов и др., 2007; Наумов, Поляков, 2009).

По гранулометрическому составу почвы ЛОД неоднородны. Большую часть территории занимают почвы легкосуглинистого состава, занимают площадь 144,2 га, расположены повсеместно, в кварталах II, IV, V, VI, VII, XII, XIII, XIV. Почвы среднесуглинистого состава, занимают площадь-66,6 га, расположены в III квартале, на севере IV, на западе VIII, IX, X, XI кварталов и на юго-западе XIV квартала. Почвы супесчаного гранулометрического состава, встречаются на востоке VIII квартала, юго-востоке IV квартала, редко в VII квартале и на востоке IX квартала и

занимают площадь 16,4 га. В западной части IX квартала небольшим массивом площадью 5,6 га представлен тяжелосуглинистый гранулометрический состав почв.

Исследования показали, что почвы, сформировавшиеся, на суглинистых моренных отложениях – самая распространенная группа почв. Большинство разрезов имеют мощнодерновый гумусовый горизонт, по глубине проявления подзолистого процесса – глубоко- и сверхглубокоподзолистые, когда горизонт А2 доходит до глубины 45-50 см., по интенсивности проявления-сильноподзолистые. Гранулометрический состав в основном легко и среднесуглинистый. Преобладают почвы глубоко-глееватые и профильно-глееватые, 9 разрезов не имеют оглеения. Вторая по численности группа почв сформирована на супесчаных моренных отложениях. Мощность гумусового горизонта очень разнообразна, под насаждениями различного состава, встречаются почвы от крайне мелких до глубокодерновых, преобладают мощнодерновые почвы. Нижняя граница подзолистого горизонта начинается с глубины >15 см и достигают 30-45 см. По гранулометрическому составу почвы – супесчаные и суглинистые. По проявлению процесса оглеения, большинство – профильно-глееватые, в этой группе почв только 3 разреза без оглеения. Группа почв, формирующихся на песчаных отложениях, самая малочисленная. Гумусовый горизонт имеет различную мощность: выделены почвы мощно- и глубокодерновые. Все почвы относятся к виду и глубоко- сверхглубокоподзолистые, сильноподзолистые, по процессу оглеения- профильно-глееватые, гранулометрический состав – легкосуглинистый.

На строение профилей дерново-подзолистых почв ЛОД заметное влияние оказывают почвообразующие породы. Моренный суглинок, являясь преобладающей по гранулометрическому составу почвообразующей породой, часто характеризуется двучленным строением, когда верхняя его часть (40-50 см) имеет легкий или средний суглинок песчано-крупнопылеватого гранулометрического состава, подстилаемого песками,

супесями с включением гравия и валунов, главным образом, гранита и кварцита. На склонах моренного холма появляются прослой абляционной морены различного гранулометрического состава: от рыхлых мореноподобных суглинков и супесей до песков и гравийных отложений. Подстилаемые пески и супеси часто имеют также двучленное строение. Верхняя их часть (25-40 см) представляет собой крупнопылеватую песчаную супесь с прослоями песчано-крупнопылеватого легкого суглинка, ниже – красно-бурая моренная супесь с линзами песка. В нижней приподошвенной части моренных склонов, где идет накопление продуктов переотложения морены, почвообразующая порода неоднородна по гранулометрическому составу и часто характеризуется слоистой текстурой.

Таким образом, на территории Лесной опытной дачи формирование дерново-подзолистых почв происходит на поверхностях разного возраста и генезиса, на почвообразующих породах разного гранулометрического состава. Почвы различаются по гранулометрическому составу от песчаных до средне - реже тяжелосуглинистых. Разнообразны по гранулометрическому составу и моренные отложения. Ряд почвенных профилей формируется на двучленах. Процесс оглеения присущ большей части обследованных почв, среди которых преобладают профильно- и глубокоглееватые почвы.

В целом, почвенный покров Лесной опытной дачи характеризуется анизотропной структурой с неодинаково изменяющимися по вертикальной и горизонтальной осям мощностями генетических горизонтов почв. По нашему мнению, выявленная на Лесной даче вертикальная дифференциация почв связана не только с современными процессами, но может быть следствием наложения этих процессов на «почвенную матрицу», оставшуюся от прошлых эпох.

За последние 300 лет состав древесных насаждений и характер леса и территории ЛОД существенно изменился. Это вызвано, главным образом, хозяйственной деятельностью человека. В настоящее время площадь

хвойных насаждений (51%) почти сравнялась с площадью лиственных (49%) (Поляков, 1993).

Для установления связей между составом древостоя различного породного состава и свойствами почв, была произведена группировка растений. Выделено 4 группы древостоев (чистые хвойные, чисто лиственные, смешанные древостои с преобладанием хвойных и смешанные древостои с преобладанием лиственных пород)

Верхние горизонты почв в наибольшей степени подвержены влиянию изменения тепла и влаги, соотношений колебаний этих параметров по сезонам и годам. Их формирование зависит от особенностей поступления опада и отпада, их количества, характера и скорости разложения органического вещества, особенностей процессов гумификации. Почвообразовательные процессы затрагивают, прежде всего, верхнюю толщу почв, именно там мы находим наиболее яркое отражение интенсивности и особенности их проявления, динамику и направленность. Безусловно, на строение почв оказывают влияние сукцессионные процессы, которые на основании длительного мониторинга за ходом роста древостоев хорошо прослеживаются по результатам таксации. Конкурентная борьба за свет, влагу, питательные элементы, выпады, вывалы и т. д. – все это сказывается на вертикальной и горизонтальной анизотропности почвенного покрова.

Специфика строения почв с элювиально-иллювиальным профилем свидетельствует о сложности процессов перемещения материала, протекающего в толще этих почв в течение всего периода почвообразования. Поэтому часть профиля, где активно протекают процессы элювиирования и иллювиирования глинистого и песчано-пылеватого материала, представляет наибольший интерес с точки зрения познания генезиса почв. Для решения вопроса о влиянии геоморфологических особенностей территории на строение дерново-подзолистых почв были проанализированы следующие морфологические показатели почвенных горизонтов:

МГЭГ – мощность гумусово-подзолистых (гумусово-элювиальных) горизонтов, мощность толщи до нижней границы A_1 ($A_1+A_1A_2$);

НГЭГ – нижняя граница подзолистой (элювиальной) толщи (нижняя граница горизонта A_2);

МЭГ – мощность подзолистого (элювиального) горизонта (A_2), которая относительно обеднена илом по сравнению с горизонтом С (или В);

ГТГ – глубина верхней границы иллювиального (текстурного) горизонта В;

МТГ – мощность иллювиального (текстурного) горизонта В.

В таблице 8.3.2 приведены статистические показатели почвенных горизонтов. Достоверность определения средних величин по горизонтам не вызывает сомнений, так как их отношение к ошибкам репрезентативности значительно больше 3.

Рассмотрим формирование генетических горизонтов на различных поверхностях с позиций их варьирования. Так, максимальная мощность гумусово-элювиальных горизонтов до нижней границы горизонта A_1 наблюдается в долинных понижениях геоморфологического профиля. А минимальная мощность проявляется на вершине моренного холма. На склонах и водно-ледниковой равнинной части территории мощность указанных горизонтов занимает промежуточное положение (рис. 8.3.2).

В отношении горизонта A_2 , обедненного илом по сравнению с горизонтом С (или В), максимальное значение его мощности наблюдается на склонах, а минимальное на вершине моренного холма (Рис. 8.3.3).

О глубине верхней границы текстурного горизонта В следует сказать, что наибольшее ее значение наблюдается для поверхности долинообразных понижений, а наименьшим ее значением характеризуется поверхность водно-ледниковой равнины. На склонах и вершине территории наблюдается примерно равное соотношение показателя (Рис. 8.3.4).

Статистическая характеристика морфогенетических горизонтов почв в различных частях геоморфологического профиля дачи

Геоморфологическая поверхность		Вершина моренного холма	Склоны моренного холма	Поверхность водно-ледниковой равнины	Поверхность долинообразных понижений
		(175-166 м) (10 разрезов)	(172-166 м) (11 разрезов)	(165-160) (9 разрезов)	(164-160 м) (8 разрезов)
МГЭГ Мощность гумусово-элювиальных горизонтов, до нижней границы А ₁)	1.	6-32	21-36	15-34	22-51
	2.	24,25±5,29	26,88±0,02	24,17±2,98	32,75±5,64
	3.	21,81	10,42	12,33	17,22
	4.	43,67	20,23	30,24	34,44
НГЭГ Нижняя граница элювиальной толщи (нижняя граница А ₂)	1.	43-64	45-65	41-51	42-72
	2.	52,25±3,83	51,88±0,02	45,83±0,01	54,50±5,45
	3.	7,33	6,75	9,38	10,00
	4.	4,86	12,87	6,82	20,0
МЭГ Мощность горизонта А ₂ , обедненная илом по сравнению с горизонтом С (или В)	1.	7-21	9-48	10-27	8-17
	2.	16,50±2,86	24,13±3,78	18,83±2,61	13,25±1,67
	3.	17,3	15,7	13,9	12,6
	4.	34,66	44,21	33,93	25,50
ГТГ Глубина верхней границы текстурного горизонта В	1.	57-67	57-70	41-76	51-79
	2.	62,00±1,90	63,38±2,46	59,17±5,11	62,00±5,73
	3.	3,1	3,9	8,6	9,2
	4.	6,12	10,98	21,17	18,48
МТГ Мощность текстурного горизонта В	1.	34-63	23-48	17-54	36-71
	2.	47,25±5,17	35,00±4,33	33,17±5,78	55,75±6,53
	3.	10,9	12,4	17,4	11,7
	4.	21,86	34,85	42,71	23,42

Обозначения: 1- размах варьирования показателя, см; 2 – среднее значение показателя со среднеквадратической ошибкой, см; 3 – точностьопределения средней, %; 4 – коэффициент вариации, %.

Значение мощности текстурного горизонта В является максимальным для поверхности долинообразных понижений и минимальным для поверхности водно-ледниковой равнины (рис. 8.3.5)

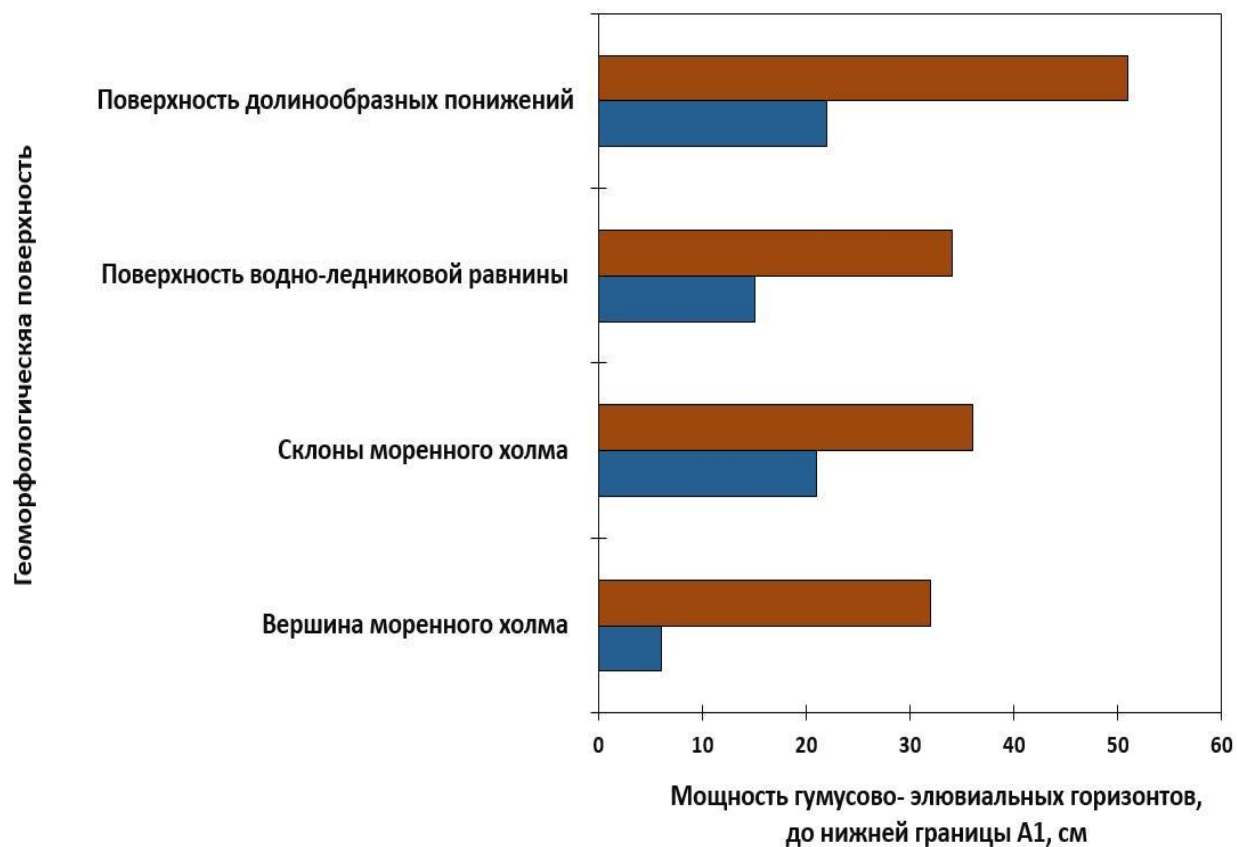


Рисунок 8.3.2. – Предельные значения мощности гумусово-элювиальных горизонтов до нижней границы горизонта A1 (максимальные и минимальные предельные значения)

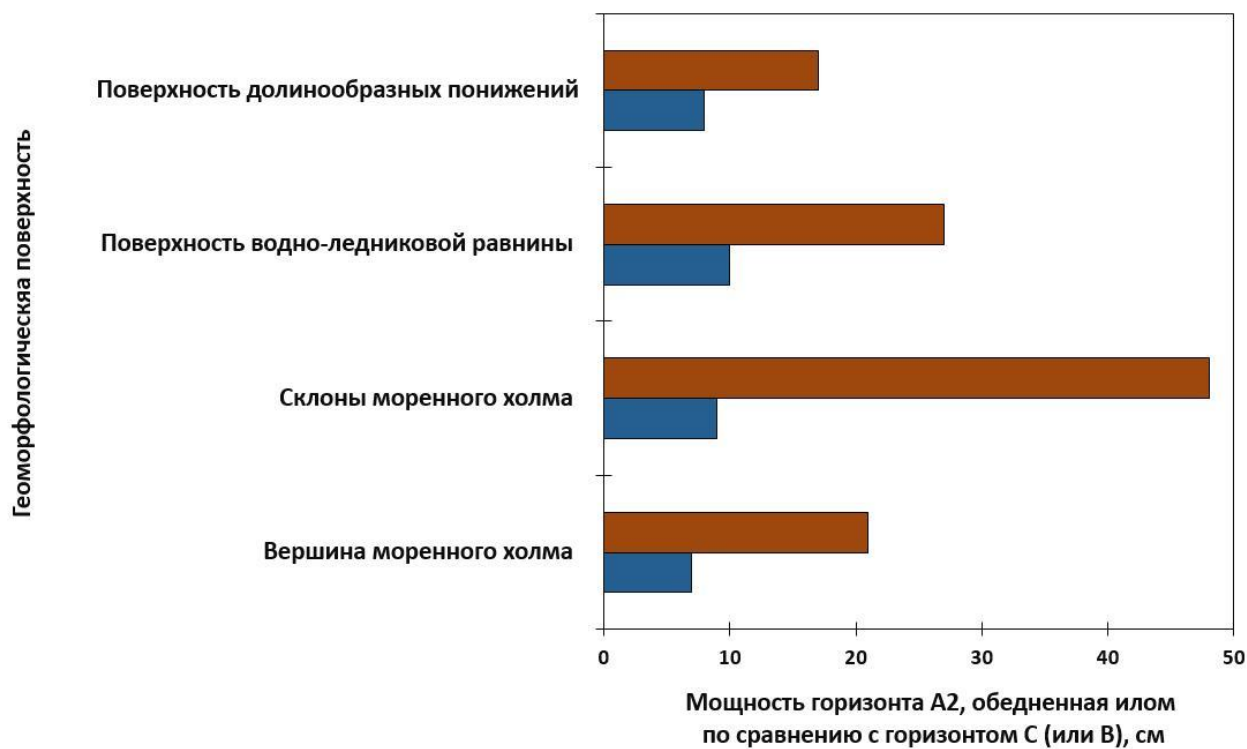


Рисунок 8.3.3 – Предельные значения мощности горизонта A2, обеднённой илом по сравнению с горизонтом C (или B) (максимальные и минимальные предельные значения)

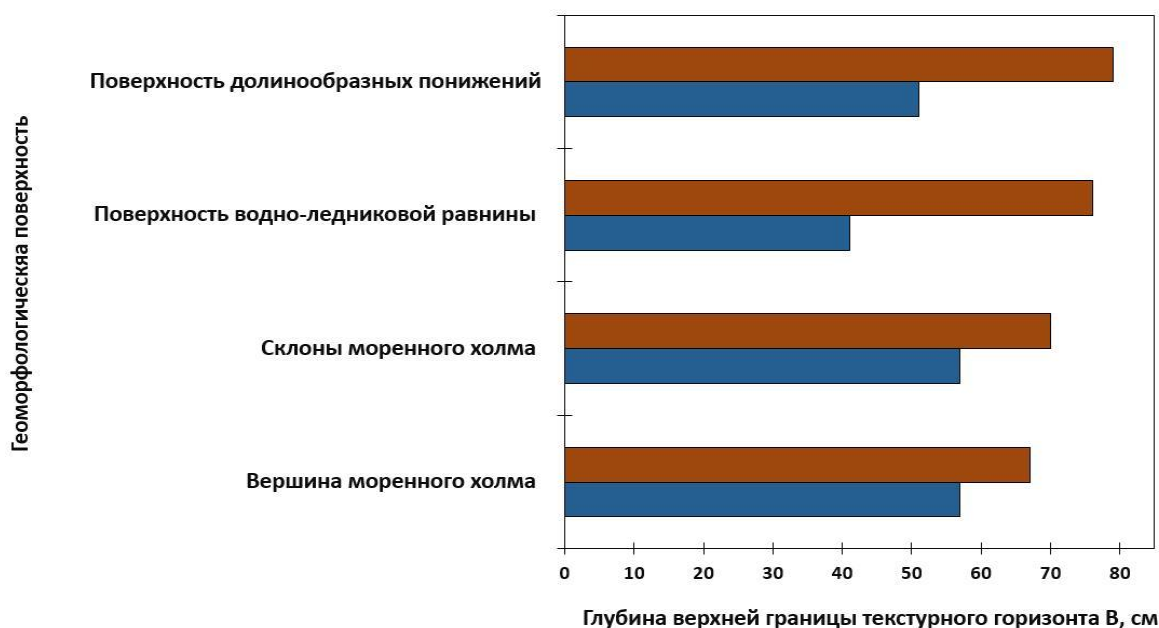


Рисунок 8.3.4. – *Предельные значения глубины верхней границы текстурного горизонта В (максимальные и минимальные предельные значения)*

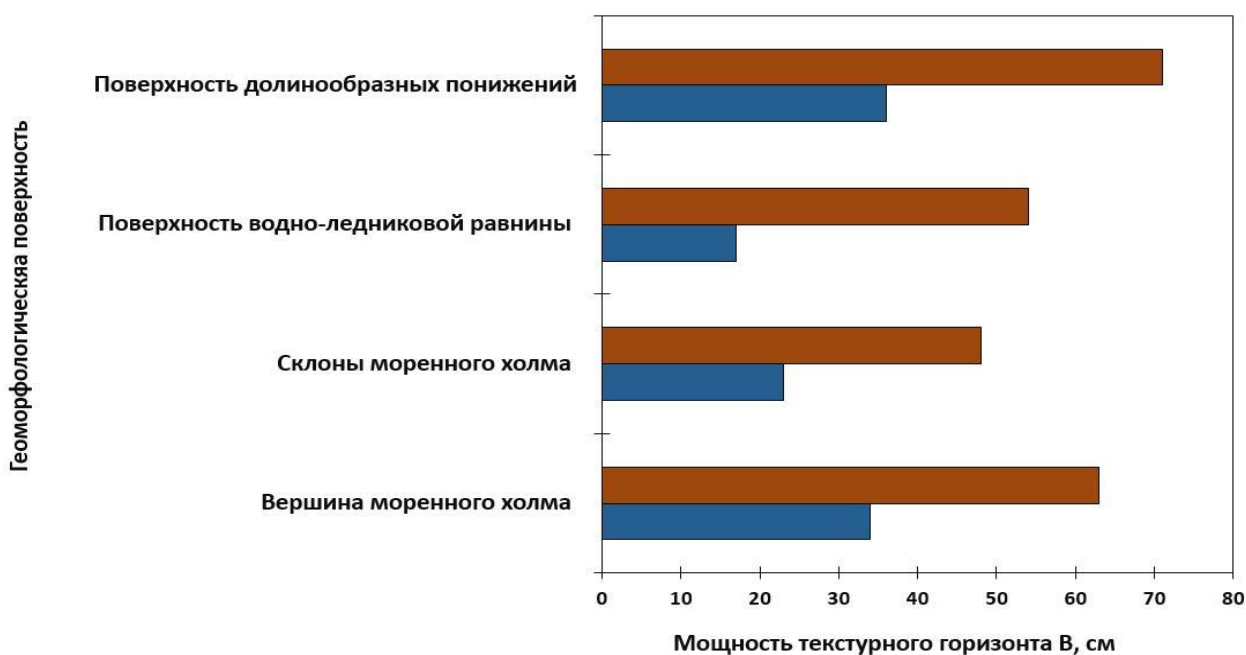


Рисунок 8.3.5. – *Предельные значения мощности текстурного горизонта В (максимальные и минимальные предельные значения)*

Следует отметить, что размах варьирования данных, характеризующих почвенный профиль, может лишь в первом приближении указывать на наличие закономерных изменений в структуре профиля почв в зависимости от высоты местоположения почвенного разреза на геоморфологических поверхностях рельефа.

На рисунке 8.3.6 показана величина среднеарифметических значений мощности и глубины залегания почвенных горизонтов на разных уровнях геоморфологических поверхностей, по которым трудно судить о наличии строгих статистических различий между рассматриваемыми вариантами поверхностей.

В дерново-подзолистых почвах постоянных пробных площадей ЛОД изучена полевая влажность (рис. 8.3.7). Исследования показали, что под чистыми дубовыми и чистыми хвойными древостоями полевая влажность почв выше, чем в почвах под смешанными насаждениями.

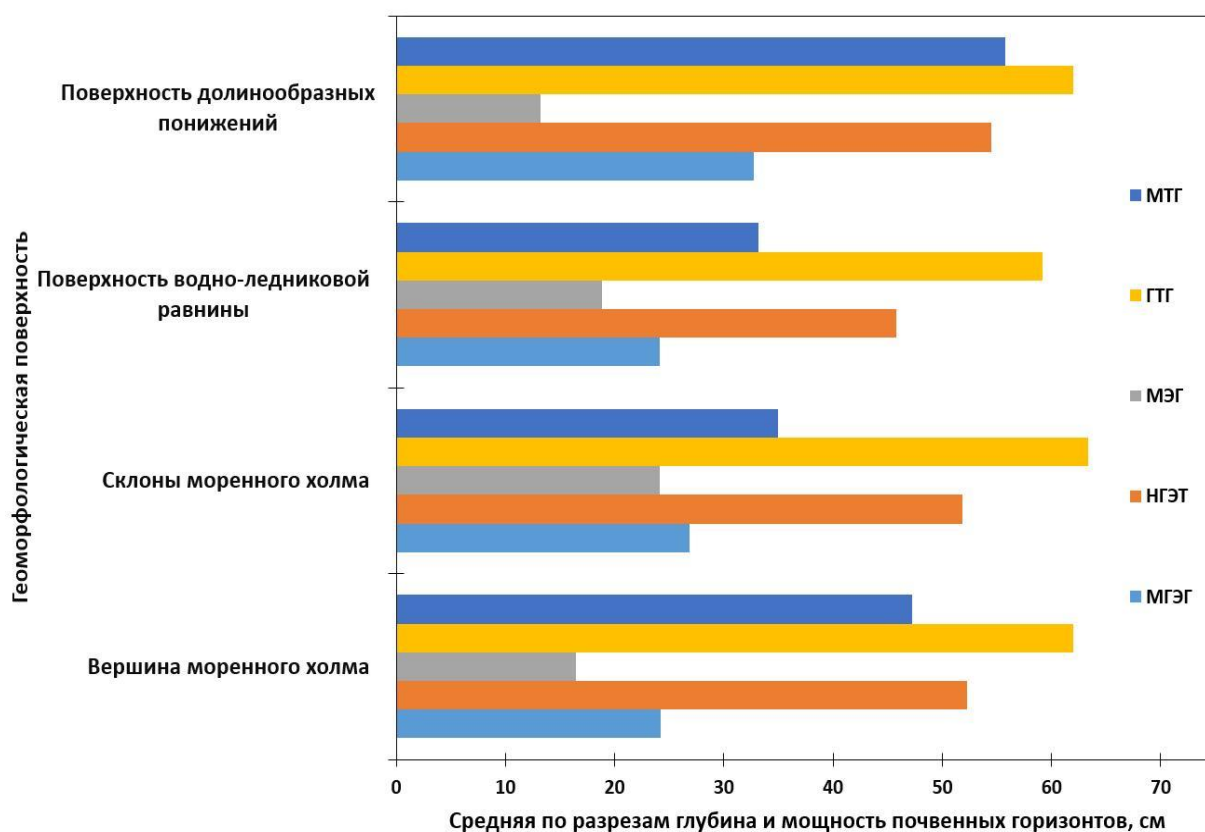


Рисунок 8.3.6.– Средняя величина мощности и глубины почвенных горизонтов на разных геоморфологических поверхностях

Более высокие значения полевой влажности определены в апреле и мае в почвах на пробных площадях, занятых чистыми сосновыми насаждениями, более низкие – под смешанными сосновыми насаждениями. Почвы, расположенные под чистыми древесными насаждениями (дубовыми и сосновыми), имеют большую полевую влажность, чем почвы, находящиеся

под смешанными насаждениями. Среди смешанных насаждений наибольшее значение полевой влажности определено в почвах на пробных площадях, занятых смешанными сосновыми насаждениями, минимальное – под смешанными дубовыми насаждениями.

Как видно на рис. 8.3.7, на протяжении летнего периода (июнь-август) наблюдается закономерное снижение величины полевой влажности в почвах, которая достигает минимальных значений в августе. С сентября по октябрь наблюдается увеличение величины полевой влажности в почвах на всех постоянных пробных площадях.

В октябре, более высокие значения полевой влажности определены на пробных площадях, занятых смешанными сосновыми насаждениями, а минимальные – под чистыми сосновыми насаждениями. В мае наибольшие значения полевой влажности определены в почвах на пробных площадях, занятых чистыми сосновыми насаждениями, минимальное – под смешанными сосновыми и дубовыми древостоями.

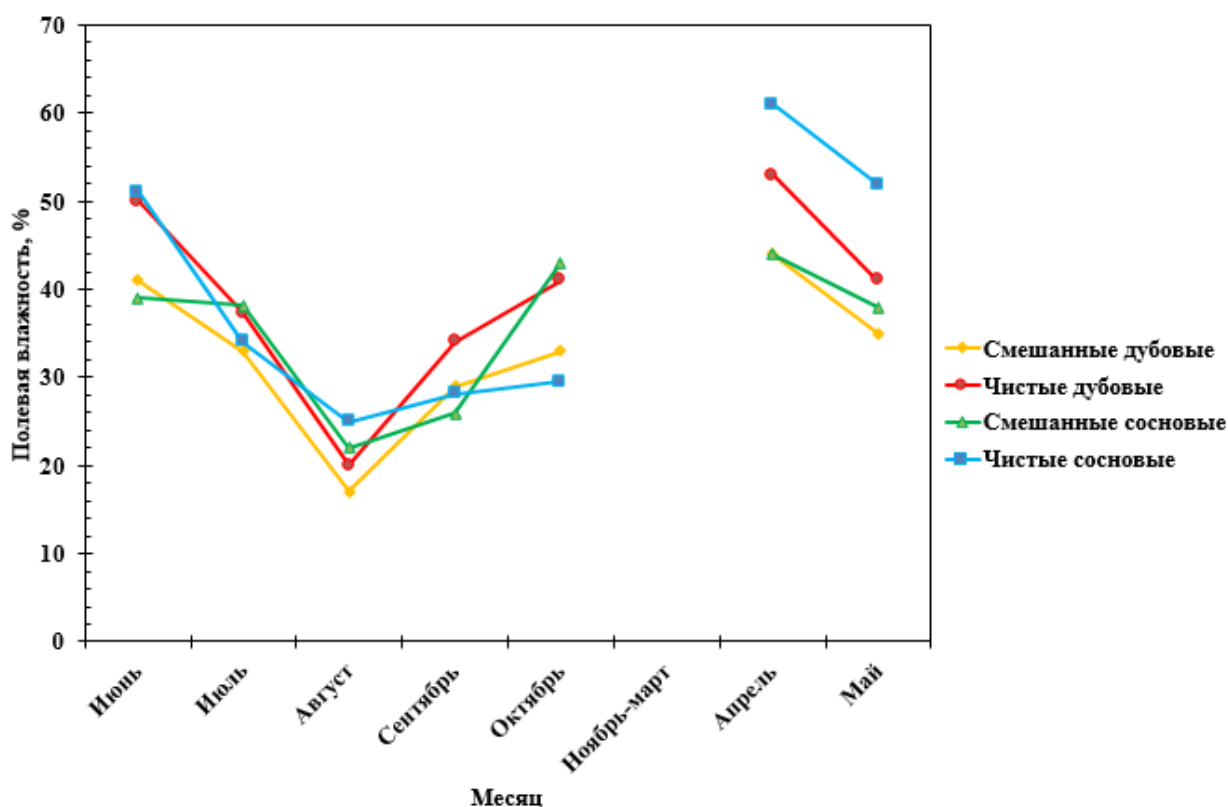


Рисунок 8.3.7. – Динамика изменения полевой влажности под древостоями различного состава

Изучение величины полевой влажности в почвах под различными древостоями позволяет сделать вывод, что состав древостоя во многом влияет на характер распределения и сохранения осадков. Максимальное значение сохранения зимних осадков отмечено в почвах под чистыми сосновыми и дубовыми насаждениями. Осенние осадки определили большую величину полевой влажности почв под чистыми дубовыми и смешанными сосновыми древостоями.

На влажность почв большое влияние оказывает характер лесной подстилки. Исследование лесной подстилки показало, что ее мощность тесно связана с составом древостоя (рис.8.3.8). Максимальное значение мощности лесной подстилки определено на пробной площади под чистыми дубовыми, несколько меньше - под смешанными дубовыми древостоями. Значительно меньшую мощность лесной подстилки имеют почвы под смешанными и чистыми сосновыми насаждениями. Мощность лесной подстилки (A_0) на этих пробных площадях минимальна и составляет 1 см. Лесная подстилка слабо разложившаяся и очень плотная. Известно, что лесная подстилка играет доминирующую роль в вопросе влияния леса на почву. Подстилка служит первым и естественным аккумулятором веществ, важнейшим источником подвижного органического вещества, мигрирующего в профиле почвы, в пределах профиля подстилки происходит последовательное преобразование органического вещества опада.

Состав и структура подстилки меняется в зависимости от состава древостоя, развития подроста и подлеска, возраста, полноты и санитарного состояния насаждения. Свойства лесной подстилки находятся в тесной генетической связи с составом растительных остатков, из которых образуется лесная подстилка, и от условий, в которых идет гумификация.

Изучение динамики мощности лесной подстилки по месяцам (июнь-октябрь, апрель-май) показало, что её мощность от 2 до 5 раз выше под лиственными древостоями, чем под хвойными. Мощность подстилки по

сравнению с летними месяцами под лиственными древостоями увеличивается в сентябре-октябре на 1-3 см. Мощность лесной подстилки под хвойными насаждениями с мая по октябрь остается практически неизменной (табл. 8.3.3).

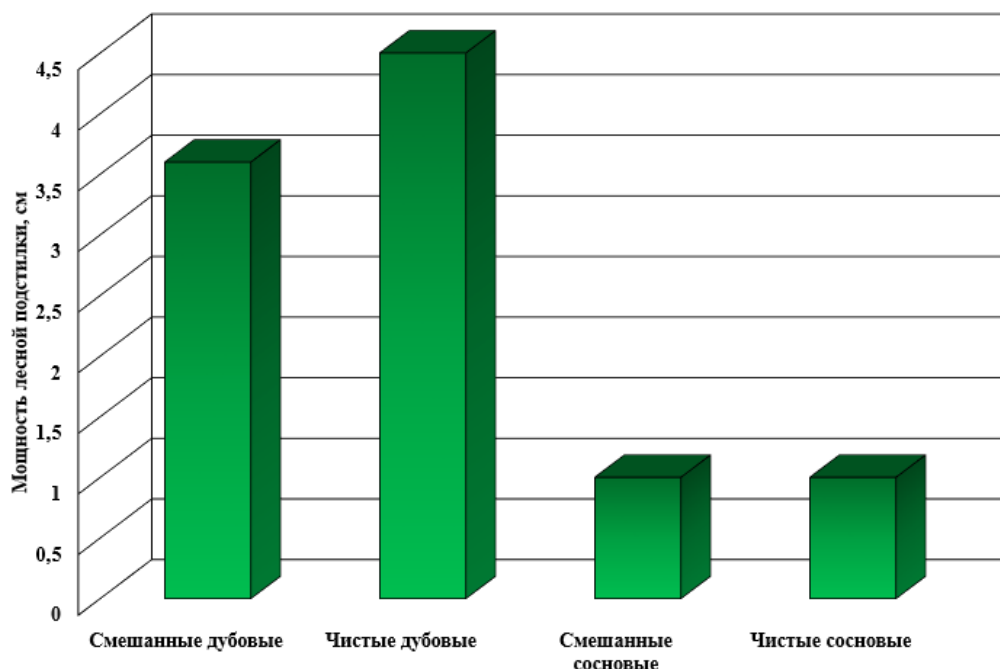


Рисунок 8.3.8. – Мощность лесной подстилки под древостоями разного состава

Основным источником органического вещества, поступающего в почву, являются продукты разложения лесной подстилки, которые поступают с нисходящим током влаги. В зависимости от мощности лесной подстилки, химического состава органического вещества, характера и скорости его разложения (грибной, бактериальный) во многом определяется специфика почвообразовательного процесса.

Содержание углерода гуминовых кислот в дерново-подзолистых почвах под чистыми и смешанными дубовыми насаждениями выше и колеблется от 17,9 до 33,9% по сравнению с почвами под чистыми и смешанными сосновыми насаждениями 16,1 до 28,2%. Содержание углерода фульвокислот колеблется соответственно от 30,1 до 34,2% и от 28,6 до 33,6%. Содержание негидролизуемого остатка колеблется в почвах как под различными по составу древостоями, так и в сезонной динамике. Не

выявлено каких-либо закономерностей в почвах под насаждениями разного состава и в сезонной динамике по данному показателю.

Почвы характеризуются в целом средним содержанием негидролизуемого остатка, его количество изменяется в почвах под дубовыми насаждениями от 31,9 до 64,4%, под сосновыми от 41,2 до 61,2%.

Содержание гумуса в почвах под чистыми и смешанными дубовыми насаждениями выше (рис. 8.3.9). Максимальное содержание гумуса (4,21%) определено в почвах под чистыми дубовыми древостоями. В почвах под смешанными лиственными древостоями с преобладанием дуба содержание гумуса колеблется от 3,25 до 3,65%. В почвах под чистыми и смешанными сосновыми насаждениями содержание гумуса находится в диапазоне от 2,84 до 3,08%.

Влияние древесных насаждений определяет не только наличие консервативных частей гумуса, но и его лабильных частей. Л.Н. Шиховой (2002) при исследовании подзолистых почв средней тайги было выявлено, что содержание углерода лабильного органического вещества, переходящего в 0,1М пиррофосфатную вытяжку с $pH=7,0$, максимально весной, и его доля в составе общего углерода летом резко падает. Осенью содержание лабильного органического вещества возрастает, но не достигает того уровня, который наблюдается весной. При этом во все сроки наблюдения отмечается достоверная тесная положительная корреляция между содержанием всех изучаемых форм органического вещества и доступными формами фосфора и калия.

По данным М.И. Дергачевой (1986; 1989), в течение сезона меняется и состав гумуса, и соотношение гуминовых кислот, причем максимальная динамика в содержании гумуса отмечается в горизонте A_1 (0-15 см). В литературных источниках существует и обратное мнение. В исследованиях Т.Н. Мининой (1992), проведенных на дерново-подзолистых почвах, не нашло подтверждения положение о высокой динамичности лабильных форм гумуса. По полученным ей данным достоверные различия в содержании

органических веществ, переходящих в пирофосфатную вытяжку в течение 3-х месяцев (май-июль), отсутствовали, это наблюдалось на почвах с различным содержанием гумуса.

Таблица 8.3.3

Мощность лесной подстилки, содержание и качественный состав гумуса на исследуемых пробных площадях

Месяц	Показатель	Значение показателя на пробных площадях						
		11/М	11/Е	8/Н	8/О	4/М	4/О	4/Н
Июнь	Мощность подстилки, см	2	3	5	4	1	1	1
	С гумин	40,0	61,9	36,2	64,4	43,8	44,4	41,2
	С гк	28,1	29,3	31,1	31,7	25,6	24,2	26,5
	С фк	31,9	32,6	32,7	32,7	32,6	31,4	32,3
	С гк : С фк	0,88	0,90	0,95	0,97	0,8	0,77	0,82
Июль	Мощность подстилки, см	2	2	4	3	1	1	1
	С гумин	38,8	37,3	35,1	36,2	40,4	43	40,3
	С гк	28,8	29,7	31,8	31,4	26,5	24,8	26,9
	С фк	32,4	33,0	33,1	32,4	33,1	32,2	32,8
	С гк : С фк	0,89	0,90	0,96	0,97	0,8	0,77	0,82
Август	Мощность подстилки, см	2	2	5	4	1	1	1
	С гумин	38,7	35,9	37,7	31,9	41,7	43,3	41,4
	С гк	28,4	30,7	30,7	33,9	26,1	25,0	26,5
	С фк	31,9	33,4	31,6	34,2	32,2	31,7	32,1
	С гк : С фк	0,89	0,92	0,97	0,99	0,81	0,79	0,83
Сентябрь	Мощность подстилки, см	3	4	5	4	1	1	1
	С гумин	40,42	39,5	38,9	39,01	46,5	54,4	44,3
	С гк	26,48	27,6	28,6	28,9	22,4	22,6	23,7
	С фк	33,1	32,9	32,5	32,1	31,1	31,8	32
	С гк : С фк	0,80	0,84	0,88	0,90	0,72	0,71	0,74
Октябрь	Мощность подстилки, см	6	6	6	5	2	1	1
	С гумин	51,2	51,8	49,8	44,8	53,6	56,8	54,6
	С гк	18,7	17,9	19	23,1	16,3	14,6	16,3
	С фк	30,1	30,3	31,2	32,1	30,1	28,6	29,1
	С гк : С фк	0,62	0,59	0,61	0,72	0,54	0,51	0,56
Апрель	Мощность подстилки, см	3	4	5	5	1	1	1
	С гумин	40,8	40,4	37,1	36,9	44,1	44,5	43,8
	С гк	27,1	27,1	29,5	29	24	23,8	24
	С фк	32,3	31,9	32,4	32,6	32,0	32,1	31,2
	С гк : С фк	0,84	0,85	0,91	0,89	0,75	0,74	0,77
Май	Мощность подстилки, см	3	3	5	5	1	1	1
	С гумин	40,8	40,4	37,1	36,9	44,1	44,5	43,8
	С гк	27,2	27,4	30,3	30,4	23,8	23,8	24,6
	С фк	32,0	32,2	32,6	32,7	32,1	31,7	31,6
	С гк : С фк	0,85	0,85	0,93	0,93	0,74	0,75	0,78
	С общ, %	2,19	2,05	2,12	2,44	1,65	1,68	1,79
	Гумус, %	3,25	3,52	3,65	4,21	2,84	2,89	3,08

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что имеются различные точки зрения о роли древесных насаждений (чистых и смешанных, хвойных и лиственных) на свойства дерново-подзолистых почв и качественный состав гумуса. Также недостаточно изученным является

вопрос о сезонной динамике органического вещества в почвах под древесными насаждениями различного породного состава.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются гуматно-фульватным составом гумуса (отношение Сгк:Сфк - 0,5-1,0).

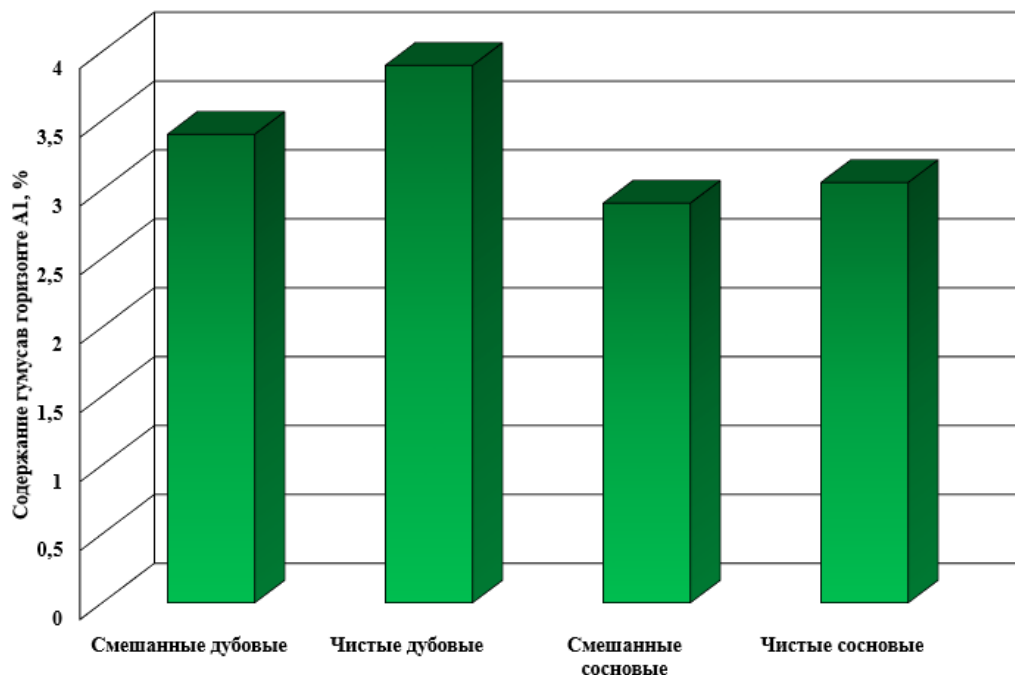


Рисунок 8.3.9. – Содержание гумуса в горизонте А₁ (%)

Изучение сезонной динамики содержания углерода гуминовых и фульвокислот позволило выявить следующие закономерности. Максимальными значениями величины Сгк:Сфк почвах характеризуются в период с мая по август (рис. 8.3.10). В осенний период этот показатель снижается в почвах под всеми древостоями и достигает своего минимума в октябре месяце. После зимнего периода его значение снова увеличивается. При этом содержания Сгк в октябре месяце в почвах под лиственными древостоями выше и оно колеблется от 17,9 до 23,1%, чем под хвойными (14,6 до 16,3%).

Выявлено, что породный состав древостоев не оказывает влияния на содержание в почвах Сфк, а также отсутствует сезонная динамика данного показателя.

Максимальное отношение Сгк:Сфк выявлено в почвах под дубовыми насаждениями, причем под чистыми древостоями оно выше, чем под смешанными. Схожая закономерность наблюдается под хвойными древостоями – под чистыми сосновыми показатель Сгк:Сфк несколько выше, чем под условно-чистыми с первым ярусом из липы.

Проведенные исследования в почвах на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показали, что между мощностью лесной подстилки, гумусовым горизонтом, величиной содержания гумуса, его качественным составом, а также полевой влажностью выявлен общий характер распределения, что свидетельствует о тесной их взаимосвязи. Схожий характер выявлен между распределением величин мощности лесной подстилки и гумусового горизонта, а также полевой влажности и содержанием гумуса в горизонте А1.

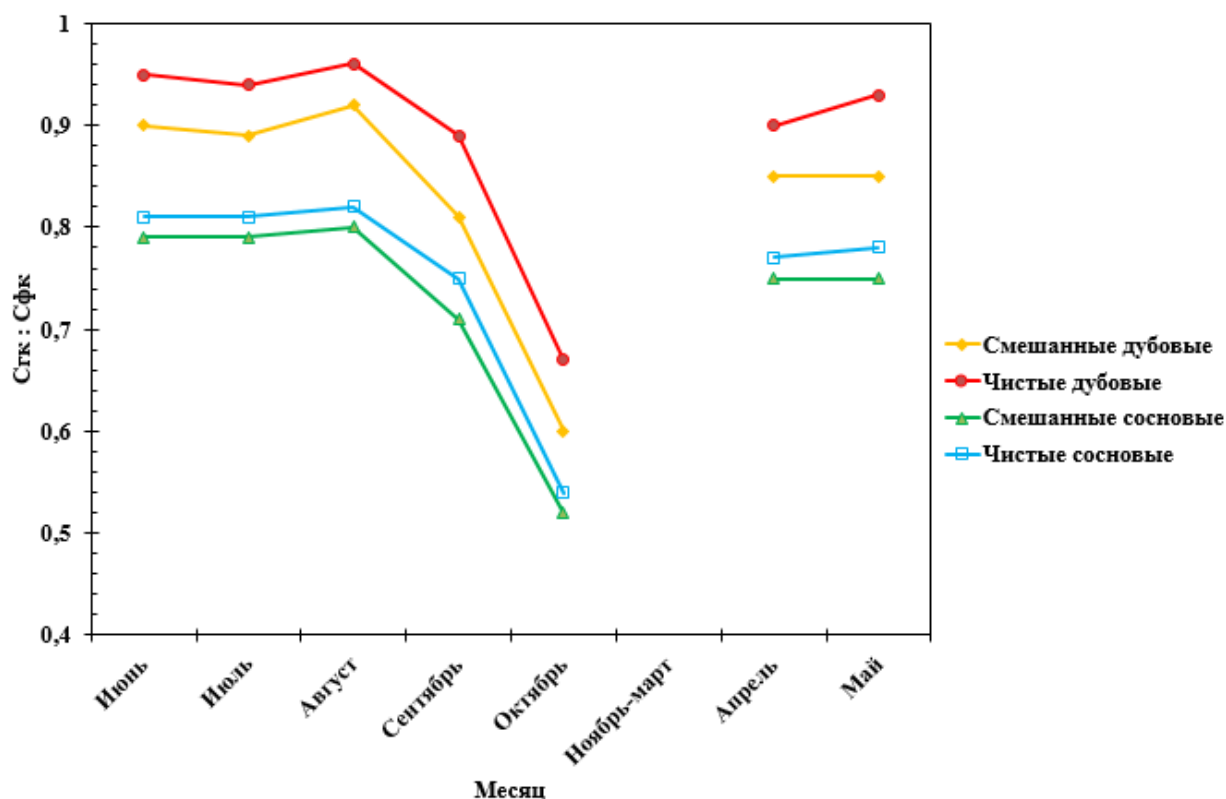


Рисунок 8.3.10. – Динамика качественного состава гумуса в зависимости от состава древостоев

Мощность лесной подстилки, полевая влажность почвы зависят прежде всего от состава насаждений и, как показали наши исследования, динамично

изменяются по месяцам и по сезонам. Это, в свою очередь, во многом определяет скорость и интенсивность протекания дернового почвообразовательного процесса и, как следствие, это проявляется в мощности гумусового горизонта и содержании гумуса в дерново-подзолистых почвах.

Выводы

Почвенный покров пробных площадей представлен дерново-подзолистыми почвами, различающимися по степени проявления дернового, подзолистого и глеевого процессов. Почвообразующая порода – морена от песчаного до среднесуглинистого гранулометрического состава.. Особенностью дерново-подзолистых почв ЛОД является большой по мощности гумусовый горизонт, который в большей части профилей почв подразделяется на два горизонта (A1+A1A2), отмечено глубокое расположение нижней границы подзолистого горизонта. Особенности строения дерново-подзолистых почв ЛОД свидетельствуют о доминировании дернового почвообразовательного процесса над подзолистым.

Формирование почв с текстурно-дифференцированным профилем ЛОД связано не только с современными процессами почвообразования, но и с явлениями, унаследованными от древнего почвообразования и литогенеза, а также с историей использования участков.

Древесные насаждения ЛОД представлены 38-ю постоянными пробными площадями, на которых преобладают преимущественно лесные культуры (28 площадей) и 10-ю - древостоями естественного происхождения. По породному составу, пробные площади представлены чистыми хвойными (ПП: IV-О, IV-Е, VII-П, VII-Р, V-Ж), чистыми лиственными (VIII-О, VIII-З), остальные пробные площади – смешанными древостоями, в которых

преобладают хвойные породы. По форме древостои преимущественно простые.

Выявлена определенная закономерность между строением дерново-подзолистых почв и геоморфологическими поверхностями различного генезиса, что проявляется в степени выраженности дернового, подзолистого почвообразовательных процессов и процесса оглеения. На среднеплейстоценовых, аккумулятивных ледникового генезиса (моренных) поверхностях, на субгоризонтальной вершине моренного холма почвенный покров представлен преимущественно мощнодерновыми сильно-и среднеподзолистыми, глубокоподзолистыми, легкосуглинистыми почвами. Склоны моренного холма, отличаются большим разнообразием по степени выраженности дернового почвообразовательного процесса: от слабодерновых до глубокодерновых, средне-глубокоподзолистых, а также наличием профилей с признаками грунтовой глееватости. Почвы имеют гранулометрический состав от супесчаного до среднесуглинистого. Субгоризонтальные поверхности водноледниковой равнины представлены по проявлению дернового процесса - мощно- и среднедерновые, реже крайне мелкие, глубокодерновые, по проявлению подзолистого процесса – средне-, сильно-, сверхглубокоподзолистые. Поверхности поздне-среднеплейстоценоголоценовые, полигенетические, характеризуются преимущественно дерново-подзолистыми мощнодерновыми средне-глубокоподзолистыми легкосуглинистыми почвами. На отложениях позднеплейстоценоголоценовых представлены преимущественно глубоко- и мощнодерновыми средне-глубокоподзолистыми почвами различного гранулометрического состава.

Исследования полевой влажности показали, что наибольшие значения в почвах были в апреле и мае под чистыми сосновыми насаждениями, минимальные – под смешанными сосновыми насаждениями. На протяжении летнего периода (июнь-август) происходит заметное снижение величины полевой влажности в почвах под всеми древостоями, с минимумом в августе.

В сентябре–октябре полевая влажность увеличивается в почвах на всех пробных площадях, при этом максимальные величины определены под чистыми и смешанными дубовыми насаждениями.

Морфогенетическое изучение дерново-подзолистых почв показало, что они различаются по мощности и составу лесной подстилки и мощности гумусового горизонта. Мощность лесной подстилки под дубовыми древостоями в 2-5 раз выше по сравнению с почвами под сосновыми.

Более высоким содержанием гумуса характеризуются почвы под чистыми дубовыми древостоями (4,25%) и под смешанными с преобладанием дуба (3,25-3,65%). В почвах под сосновыми чистыми и смешанными насаждениями его содержание колеблется от 2,84 до 3,08%.

Дерново-подзолистые почвы Лесной опытной дачи характеризуются гуматно-фульватным составом гумуса. Выявлены различия по содержанию Сгк в почвах: оно выше в почвах под лиственными древостоями (17,9-33,9%), под хвойными насаждениями (16,1-28,2%). В сезонной динамике происходит снижение содержания Сгк в октябре месяце: в почвах под лиственными древостоями оно колеблется от 17,9 до 23,1%, под хвойными – от 14,6 до 16,3%. Установлено, что породный состав древостоев не оказывает влияния на содержание в почвах Сфк, отсутствует и сезонная динамика данного показателя.

9. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

9.1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА РАСТЕНИЙ РОДА МИСКАНТУС (*MISCANTHUS SPP.*)

21 век – время бурного развития науки и техники. Не является исключением и сельское хозяйство, структура которого претерпевает существенные изменения. Совершенствуется агротехника, вводятся в оборот новые культуры, развиваются новые направления, которые позволят сельскому хозяйству адаптироваться к изменяющимся запросам времени. Один из главных вызовов современности – растущая потребность человечества в энергии, потребление которой растёт день ото дня (Brosse и др., 2012).

Альтернативная энергетика – направление в целом не новая. Она начала своё развитие в странах Европы ещё в середине XIX века, и с тех пор был разработан целый ряд способов получения энергии (прежде всего электрической). Особенности новых путей выработки энергии были их безопасность для окружающей среды и независимость от исчерпаемых природных ресурсов. Не смотря на то, что прошло уже две сотни лет, в научном сообществе по-прежнему растёт убеждение в том, что нельзя останавливаться на достигнутом в вопросах альтернативной энергетике. В частности в качестве источника альтернативной энергии стали рассматривать растения (Clifton-Brown и др., 2015).

Растительный организм способен осуществлять фотосинтез, запасая тем самым энергию световых лучей в виде энергии химических связей органических веществ. К.А. Тимирязев в своих работах назвал растение «посредником» между «энергией космических солнечных лучей» и жизнью на нашей планете (Тимирязев, 1957). Всю свою историю человек пользуется энергией, запасённой в растении в результате фотосинтеза. Это и дрова, и

каменный уголь, и ископаемые жидкие и газообразные углеводороды – нефть и природный газ. Нестабильная ситуация на мировом рынке нефти и газа в конце 20 века дала толчок к развитию нового направления в сельском хозяйстве – биоэнергетики. Задачей сельскохозяйственной биоэнергетики было выращивание растений с целью получения биомассы, которая использовалась в виде топлива (и при прямом сжигании, и при переработке в биотопливо более высоких поколений). К началу 21 века биоэнергетика в сельском хозяйстве трансформировалась в биоэкономику, поскольку биомассу растений стали использовать не только для получения биотоплива, но и для других нужд (синтеза полимерных материалов, получения композитных строительных материалов и т.д.). В конце XX века в странах Западной Европы была организована масштабная работа по анализу дикорастущих видов растений разных климатических зон с целью выявления наиболее перспективных для нужд биоэкономики. Особое место среди изученных видов занял Мискантус (*Miscanthus* spp.) (Lewandowski и др., 2016).

Все представители рода Мискантус (*Miscanthus* spp.) семейства Мятликовые (*Poaceae*) – многолетние травянистые растения (рис. 9.1.1), для которых свойственен C₄-тип фотосинтеза. Особенностью мискантуса является способность поддерживать высокую интенсивность фотосинтеза при пониженной температуре. Это выгодно отличает его от большинства других C₄-растений (Фаттахова и др., 2016). Кроме того, потенциальная продуктивность мискантуса может достигать 40 и более тонн сухой биомассы с гектара (Тараканова и др., 2015). Способность произрастать на одном месте более 20 лет, не снижая при этом урожайности, низкая потребность в удобрениях, практически полное отсутствие болезней и вредителей – всё это делает данную культуру крайне перспективной при использовании для нужд биоэкономики (Анисимов и др., 2016). Кроме того, показана возможность использования биомассы мискантуса и в современных

технологиях возделывания традиционных сельскохозяйственных культур, например в качестве мульчи для картофеля (Николаев и др., 2020).



*Рисунок 9.1.1 – Растения мискантуса гигантского (*Miscanthus x giganteus*) 6-го года жизни, 125 день вегетации, Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Для новых, малораспространённых сельскохозяйственных культур, имеющих потенциал (к которым, безусловно, относится мискантус), вопросы физиологических особенностей продукционного процесса остаются малоизученными, особенно в условиях Российской Федерации. Между тем, эколого-физиологическая характеристика является необходимым условием для обоснования возможности выращивания, построения агротехники и получения стабильных урожаев мискантуса в условиях различных регионов, в том числе и в средней полосе европейской части России (Анисимов и др., 2016).

Для изучения вопросов, связанных с формированием элементов продуктивности у различных представителей рода мискантус, в 2012 году на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был заложен многолетний полевой опыт. Данный опыт закладывался в ходе 7-й Рамочной Программы Европейского союза как часть международного географического эксперимента. В проекте приняли участие исследователи из Германии, Нидерландов, Великобритании, Украины, Турции и России (Lewandowski и др., 2016). Срок реализации программы составлял 5 лет, и по её завершению полевой опыт был продолжен.

Участок под полевой опыт расположен на высоте 100 метров над уровнем моря (координаты - 35°50'20"N - 37°33'55"E). Опыт расположен в середине пологого ровного склона, направленного на северо-восток, почвообразующая порода – суглинистая морена с песчаными линзами (рис.9.1.2). Опыт заложен по модели полной рандомизации в трёхкратной повторности, на каждой делянке разместили по 49 растений (квадрат 7x7 растений), схема посадки – 70x70 см.

В рамках полевого опыта изучали 15 разных генотипов мискантуса, относящихся к ботаническим видам *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sacchariflorus*, *Miscanthus x giganteus*, а также их гибридам. Для удобства и наглядности данные по полевому опыту ниже будут представлены только по 4 генотипам.

При выращивании мискантуса критическим является первый календарный год после высадки растений в поле. Для посадки используют прежде всего вегетативно размноженные растения. При вегетативном размножении мискантуса пользуются методом черенкования (которое, однако, крайне затруднено) и деления корневища (основной и самый распространённый способ). Перспективным является метод микроклонального размножения. Семенное размножение крайне затруднено из-за стерильности межвидовых гибридов и позднего цветения, связанного с особенностью фотопериодической реакции (Анисимов и др., 2016). Для

закладки полевого опыта использовали микроклонально размноженные растения.



Рисунок 9.1.2 – Общий вид многолетнего полевого опыта на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

В первый год после посадки дважды за вегетацию проводили полив. Кроме того, в первый год важно проводить мероприятия по борьбе с сорной растительностью. Начиная со 2 года жизни поливы и борьбу с сорными растениями прекращали, поскольку растения уже способны успешно конкурировать с сорняками, в том числе с использованием аллелопатических механизмов взаимодействия (Анисимов и др., 2021). Кроме того, за периоды с 2012 по 2022 год ни разу не была отмечена гибель растения при перезимовке.

Продолжительность вегетации мискантуса в средней полосе России ограничена безморозным периодом. Все генотипы начинают весеннее отрастание в 1 декаде мая. Осенью вегетация мискантуса завершается при

наступлении заморозков с температурой ниже -3°C (понижение температуры до данной отметки приводит к гибели наземной части растения). В среднем на широте Москвы продолжительность вегетации мискантуса (в зависимости от генотипа) колеблется от 150 до 170 дней. Чем старше становятся растения, тем продолжительней оказывается их вегетация, что связано с более высокой устойчивостью взрослых растений к понижению температуры осенью.

Хозяйственную ценность у мискантуса представляет прежде всего наземная часть – стебли и листья. Поэтому для характеристики продукционного процесса можно использовать показатели числа побегов и их максимальной высоты (таблица 9.1.1, таблица 9.1.2). Наиболее высокой кустистостью отличался мискантус гибридный, наименьшей – мискантус китайский и гигантский.

Таблица 9.1.1

Кустистость (Максимальное число стеблей) растений мискантуса разных лет жизни, шт на растение

Вид	Год жизни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>M. sacchariflorus</i>	6 \pm 2	29 \pm 5	37 \pm 4	69 \pm 11	72 \pm 8	74 \pm 6	70 \pm 9	75 \pm 6
<i>M. x hybrid</i>	21 \pm 3	63 \pm 18	109 \pm 25	114 \pm 21	125 \pm 19	121 \pm 16	116 \pm 21	128 \pm 14
<i>M. x giganteus</i>	7 \pm 2	22 \pm 9	42 \pm 8	49 \pm 11	51 \pm 8	55 \pm 7	54 \pm 9	61 \pm 11
<i>M. sinensis</i>	8 \pm 3	24 \pm 8	24 \pm 4	47 \pm 8	41 \pm 6	43 \pm 7	44 \pm 5	49 \pm 9

Таблица 9.1.2

Максимальная высота растений мискантуса разных лет жизни, см

Вид	Год жизни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>M. sacchariflorus</i>	71 \pm 15	102 \pm 8	141 \pm 6	165 \pm 8	225 \pm 15	241 \pm 9	244 \pm 11	246 \pm 18
<i>M. x hybrid</i>	65 \pm 11	125 \pm 9	153 \pm 6	169 \pm 12	186 \pm 14	191 \pm 15	189 \pm 19	180 \pm 15
<i>M. x giganteus</i>	78 \pm 9	152 \pm 11	202 \pm 9	221 \pm 11	232 \pm 14	244 \pm 18	252 \pm 11	249 \pm 14
<i>M. sinensis</i>	69 \pm 8	131 \pm 12	157 \pm 8	175 \pm 8	191 \pm 9	199 \pm 14	183 \pm 13	186 \pm 17

В среднем все генотипы к 3 – 4 году жизни выходят на максимальную величину числа стеблей, в дальнейшем увеличивая её лишь в незначительной

степени (статистически значимых различий по дальнейшим годам в большинстве случаев не выявляется).

В первые пять лет жизни у всех генотипов мискантуса наблюдается стабильное увеличение максимальной высоты побегов. Мискантус гигантский во все года жизни формировал самые высокие побеги, при этом в отдельные годы его высота может превышать значения в 2,5 метра. Начиная с 6 года жизни растения мискантуса сахароцветкового, до этого отстававшие по высоте, начинают формировать побеги, сопоставимые с мискантусом гигантским.

Урожайность мискантуса сахароцветкового выходит на максимальную величину (18-20 тонн сухой биомассы с гектара) к 6-7 году жизни. Из литературных источников известно (Lewandowski и др., 2016), что мискантус в условиях Европы выходит на максимальный уровень продуктивности уже к 3-4 году. В условиях Москвы выход на максимальную продуктивность оказался отложенным на 3-4 года. Мискантус китайский также отстаёт по срокам выхода на максимальную продуктивность (15-16 тонн сухой биомассы с гектара, на 6-7 год жизни) от сроков, описанных в литературе. Мискантус гигантский изначально характеризуется более высокой продуктивностью по сравнению с остальными изученными видами. На максимальную продуктивность данный генотип вышел на 6-7 год, достигнув урожайности в 23-25 тонн сухой биомассы с гектара.

У всех генотипов мискантуса переход к цветению означает резкое снижение скорости накопления биомассы. Это связано удлинением стеблей, которые становятся в 1,5 – 2 раза тоньше и формируют на своём конце соцветие – метёлку. Длинный и полый цветонос крайне малопригоден для большинства хозяйственных нужд. В условиях средней полосы России к генеративному развитию переходят растения мискантуса китайского и мискантуса гибридного. Мискантус гибридный и мискантус китайский оказались растениями с классической количественной фотопериодической реакцией (Анисимов и др., 2016). Весной (в нашем случае это первая декада

мая) продолжительность относительно короткого светового дня оказывается недостаточной для стимулирования цветения. Затем наступает период длинного светового дня, который не даёт зацвести растениями и одновременно стимулирует их кущение, и, соответственно, накопление биомассы. Переход к цветению у мискантуса начнется лишь в первой декаде сентября, то есть при снижающейся продолжительности светового периода.

Особо ярко особенности фотопериодической регуляции цветения проявились в условиях географического эксперимента. Среди всех представленных в географическом эксперименте точек наиболее южная – это Адана, Турция (рис. 9.1.3). Как известно, при движении на юг, в более низкие широты, максимальная продолжительность светового дня падает, создавая тем самым благоприятные фотопериодические условия для цветения мискантуса.

Растения, произрастающие на турецком участке эксперимента, должны находиться в наиболее благоприятных фотопериодических условиях с точки зрения цветения. В самой южной точке географического эксперимента растения мискантуса начинают зацветать в мае, то есть тогда, когда в средней полосе России ещё не отмечается отрастание после зимы. Столь раннее цветение крайне неблагоприятно сказывается на продуктивности мискантуса.

В целом, подводя итоги 10-летнего опыта, можно говорить о возможности успешного выращивания данной культуры в средней полосе России. Растения способны благополучно перезимовывать, и на 5-7 год выходить на свою максимальную продуктивность. Безусловно, продуктивность мискантуса в средней полосе ограничена множеством факторов (и продолжительностью вегетации, и низкими температурами, и низким приходом ФАК) (Анисимов и др., 2019). Однако, несмотря ни на что, растения оказались способны успешно произрастать и давать урожай до 25 тонн сухой биомассы с гектара.

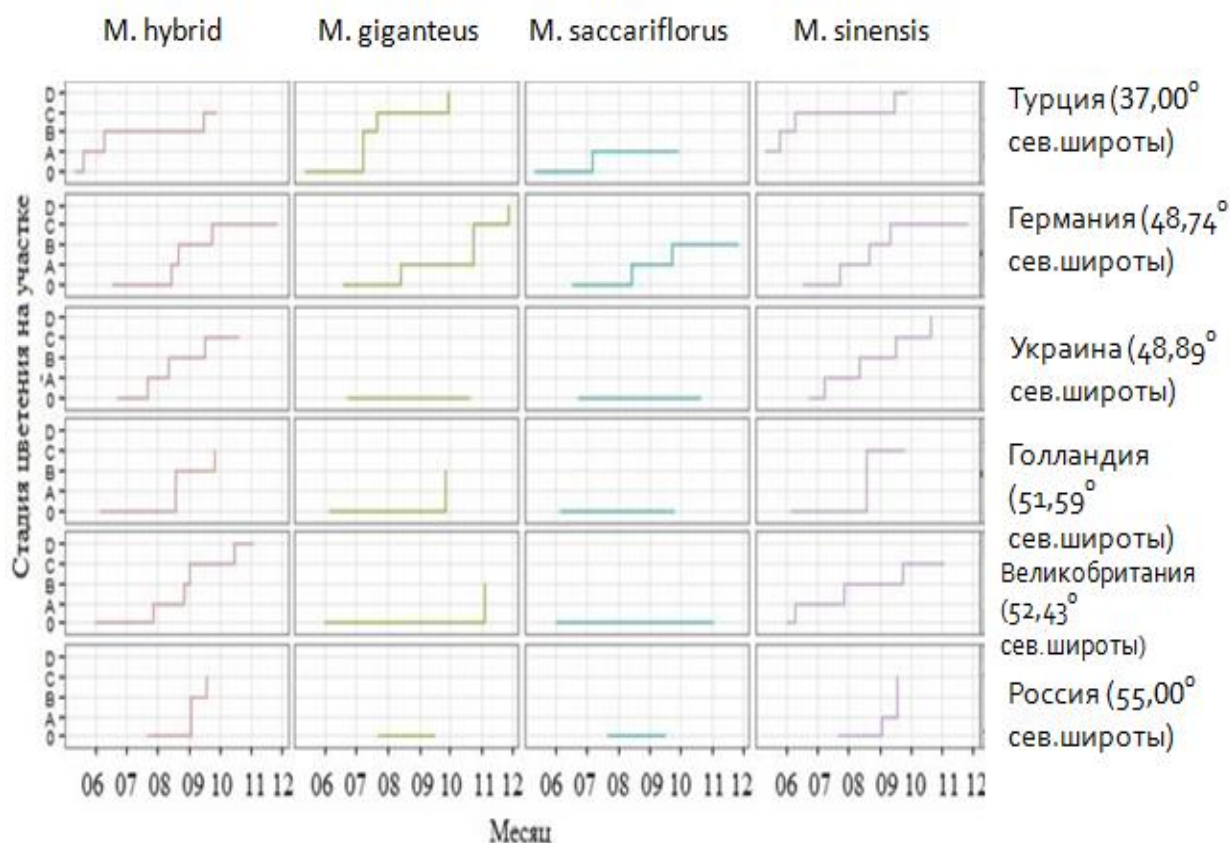


Рисунок 9.1.3 – Сроки перехода к цветению у разных видов мискантуса во всех точках географического эксперимента, растения 4 года жизни. (А-появление флагового листа, В-вымётывание, С-начало цветения, D-конец цветения)

Всё вышесказанное позволяет утверждать, что мискантус – перспективная культура, способная в значительной мере реализовать свой потенциал продуктивности в зоне рискованного земледелия – средней полосе России.

9.2. АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ И КОРНЕВЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ У РАСТЕНИЙ

Аллелопатические взаимоотношения – одни из наиболее сложных, так как в данной форме тесно переплетаются прямое и опосредствованное

влияние. Прямое влияние предопределяется выделениями растений, а опосредствованное – деятельностью микроорганизмов и грибов.

Воздействие растений друг на друга, а также взаимовлияние высших растений и микроорганизмов, высших растений и животных, осуществляющееся через выделяемые продукты метаболизма, получили название аллелопатии.

Аллелопатическое влияние может иметь как отрицательный, так и положительный характер, поскольку в растительных и микробных выделениях выявлены практически все известные в химии естественные органические соединения (Кондратьев и др., 2014).

Знание проблем, связанных с проявлением аллелопатии как экологически важного механизма, имеет большое значение в оценке экологических последствий воздействия аллелопатических растений в естественных и культурных фитоценозах.

Выявление аллелопатического эффекта часто связано с полевыми наблюдениями в садоводстве или лесном хозяйстве, а также связано и с нарушениями структуры растительных сообществ в естественной среде обитания. Известны следующие проявления аллелопатии в природных условиях:

1. Выращивание культуры длительное время на одном и том же месте сопровождается снижением интенсивности её роста и падением урожайности называемое аутоинтоксикацией.
2. Тормозящее действие на прорастание и рост культуры, вызванное остатками либо самой культуры, либо сорняков.
3. Аллелопатия была исследована для объяснения трудностей пересадки плодовых деревьев.
4. Привлекает внимание исследователей существование в экосистемах чистых (одновидовых) фитоценозов.
5. В некоторых случаях аллелопатический эффект не проявляется сразу, особенно, если визуальные симптомы развиваются медленно. Взаимодействие может выглядеть случайным, но аллелохимикалии (аллелопатические химические вещества) присутствуют постоянно. Это может привести к изменениям в

флористическом разнообразии и внести свои коррективы в схему распространения некоторых видов растений в пределах сообщества. Сокращение числа видов растений, чувствительных к аллелохимикалиям, может быть не заметным в краткосрочной перспективе.

Аллелопатические химические вещества (аллелохимикалии) высвобождаются и попадают в почву в течение определённого периода времени, а также постоянно удаляются и (или) поглощаются из почвенного раствора растениями, адсорбируются почвенными частицами, разлагаются микроорганизмами. (Кондратьев и др., 2014). Аллелохимикалии выделяются в окружающую среду органами растений, такими как корни, листья, стебли, цветы, семена и т.д. Огромное количество аллелопатических взаимодействий обычно направлено на ингибирование по отношению к другому растению, причем положительные отношения встречаются редко.

Многие фенольные соединения, идентифицированные в растениях, накапливаются в ризосфере в значительных количествах. Даже адсорбируясь почвой, они сохраняют свою биологическую активность. Фенольные соединения корневых выделений растений могут выступать также в роли индукторов (сигнальных веществ) во взаимосвязях растения и микроорганизма. Установлено, что эти соединения являются активирующим компонентом экссудата корня и обладают способностью экспрессировать гены, необходимые для осуществления последовательных стадий взаимодействия растения-хозяина с микросимбионтом. (Кондратьев и др., 2020).

В агроэкосистемах аллелопатия может частично влиять на отношения между культурами, между культурными и сорными растениями, что отражается на экономике производства урожая сельскохозяйственных культур. В настоящее время установлены как с.х. культуры, так и сорняки, обладающие аллелопатической активностью, аллелопатия имеет большие перспективы для разработки альтернативных стратегий для борьбы с сорняками. Тем самым полагается, что может быть снижена зависимость

растениеводства от промышленных химических гербицидов. Осуществляется поиск и разработка новых гербицидов посредством выделения, идентификации и последующего химического синтеза активных аллелопатических соединений, выделенных из растений. Такие соединения принято называть «естественными гербицидами». Сила ингибирования энергии прорастания семян сорных растений метаболитами семян лекарственных видов может зависеть: 1) от вида как сорного, так и лекарственного растения, 2) структуры и химического состава семян лекарственных растений, 3) восприимчивости семян сорняков к экссудатам из семян лекарственных растений, 4) исходного соотношения семян лекарственных растений и сорняков при набухании (Кондратьев и др., 2017).

Вызывает большой интерес изучение роли аллелопатии во взаимодействии лесных деревьев и их подлеска. Например, недостаточное естественное возобновление и снижение роста высаженных саженцев было обусловлено выделением аллелохимикалий травянистой или кустарниковой растительностью. Знания о проблемах, связанных с проявлением аллелопатии как экологически важного механизма, имеет большое значение в оценке экологических последствий воздействия аллелопатических растений. Это может быть важным, например, если соответствующие виды сельскохозяйственных культур с аллелопатической активностью распространились на другие экосистемы или, если способность синтезировать аллелопатические соединения распространилась на другие виды растений. Исследования аллелопатических соединений экссудатов растений продолжают до сегодняшнего дня. В лесном хозяйстве интерес вызывает выявление растений, которые могут иметь положительный эффект, а также негативное влияние на рост деревьев в лесопарковых территориях. Садоводов аллелопатия интересует как потенциальный способ подавления сорняков с помощью аллелохимикалий, так и другими её возможностями для индустрии садоводства. Ботаников аллелопатия интересует как феномен растений. Для экологов аллелопатия представляет интерес как фактор

взаимодействия организмов в биогеоценозах. В настоящее время исследования биохимических взаимодействий между организмами расширились и стали включать роль взаимодействия почвенного сообщества с аллелохимикалиями. (Кондратьев, Ларикова, 2018).

Аллелопатия осуществляется посредством прижизненного обмена корневыми выделениями в почве, листовыми (летучие эфирные масла) - в окружающем воздухе и путём накопления в почве токсинов, образующихся при перегнивании остатков корней и опада листьев. (Кондратьев и др., 2014). Вещества, выделяемые здоровыми и неповрежденными корнями в окружающую среду, в совокупности обозначаются как корневые экссудаты. Эти вещества влияют на состав микробного сообщества в непосредственной близости от корней растений и происходящих процессов в ризосфере. Характерная особенность всех живых организмов состоит в выделении в окружающую среду продуктов их метаболизма. И в онтогенезе, и в филогенезе основным биологическим принципом организма является принцип последовательной адаптации одних видов к выделяемым в среду продуктам метаболизма других видов. Корневые системы растений выделяют различные органические вещества: сахара, кислоты, соединения азота, фосфора, продукты вторичного метаболизма (Ларикова, Волобуева, 2021).

Вторичным соединениям корневых выделений растений свойственны следующие функции: 1) сигнальная, при осуществлении симбиотических и патогенных взаимодействий между растениями, микробами и грибами, 2) аллелопатический эффект на рост клеток эпидермиса корней проростков и молодых растений, 3) защитная против патогенов, модулирование микробиомов почв, влияние на гидравлические и механические свойства почвы ризосферы, участие в мобилизации элементов питания для растений. Таким образом, хотя количество органических соединений, выделяющихся из корней, невелико и редко превышает 0,4% от общего количества фотосинтезированного углерода, они оказывают очень сильное влияние на

почвенные микроорганизмы, прорастание семян и рост корней других растений (Кондратьев и др., 2020).

Корневые выделения различных растений отличаются друг от друга, поэтому, естественно, что комплексы микроорганизмов (бактерий, грибов) ризосферы того или иного растения могут быть также различны. С другой стороны, в ризосфере могут иногда накапливаться и вредные для высшего растения организмы, что связано с состоянием самого растения и со всеми экологическими условиями. Следовательно, в ризосфере складываются очень сложные взаимосвязи, особенно многообразно выраженные у тех растений, которые имеют микоризу. Вместе с тем, в естественных растительных сообществах, которым свойственно разнообразие видового состава высших растений, может быть менее выражено влияние отдельных видов на состав микроорганизмов ризосферы, преобразованное во влияние всего сообщества высших растений. Количество и видовой состав населения ризосферы дикорастущих и культурных растений зависят от сезонов года, а также периодов вегетации и возраста этих растений. Характерная особенность всех живых организмов состоит в выделении в окружающую среду продуктов их метаболизма. И в онтогенезе, и в филогенезе основным биологическим принципом организма является принцип последовательной адаптации одних видов к выделяемым в среду продуктам метаболизма других видов. Корневые системы растений выделяют различные органические вещества: сахара, кислоты, соединения азота, фосфора, продукты вторичного метаболизма. Корневые выделения различных растений отличаются друг от друга, поэтому, естественно, что комплексы микроорганизмов (бактерий, грибов) ризосферы того или иного растения могут быть также различны. С другой стороны, в ризосфере могут иногда накапливаться и вредные для высшего растения организмы, что связано с состоянием самого растения и со всеми экологическими условиями. Следовательно, в ризосфере складываются очень сложные взаимосвязи, особенно многообразно выраженные у тех растений, которые имеют микоризу. Вместе с тем, в естественных

растительных сообществах, которым свойственно разнообразие видового состава высших растений, может быть менее выражено влияние отдельных видов на состав микроорганизмов ризосферы, преобразованное во влияние всего сообщества высших растений. Количество и видовой состав населения ризосферы дикорастущих и культурных растений зависят от сезонов года, а также периодов вегетации и возраста этих растений (Кондратьев и др., 2016).

Благодаря корневым выделениям (экссудатам) широкого спектра соединений корни могут регулировать микробиологическое сообщество почвы в непосредственной близости от них, проявлять толерантность к травоядным насекомым, способствовать формированию полезных симбиотических связей с другими организмами почвенной биоты, изменять химические и физические свойства почвы и препятствовать росту конкурирующих видов растений. Корневые выделения играют фундаментальную роль в минеральном питании растений. Управление некоторыми или всеми этими ризосферными процессами будет служить ключом к повышению продуктивности растений.

10. ХИМИЯ

10.1. ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ АГРАРНЫХ ВУЗОВ В РОССИИ

Химическая подготовка является важной неотъемлемой частью становления специалиста-агрария. С течением времени она претерпевает различные изменения, но не теряет своей важности и актуальности. В настоящее время, также наблюдается ряд тенденций, требующих практической реализации.

Рассмотрим эволюцию системы химической подготовки студентов аграрных вузов в России до настоящего периода, а также современные тенденции, определяющие ее дальнейшее развитие.

Преподавание химических дисциплин ведется с первого дня функционирования первого вуза аграрного направления в России – Петровской земледельческой и лесной академии в 1865 г. История развития химической подготовки для специалистов аграрного профиля в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева рассмотрена в трудах выдающихся ученых (Белопухов и др., 2014; Пржевальский, 2009; Смарыгин, 2009; 2017). Мы выполнили обобщающее исследование (Григорьева, Белопухов, 2022), где структурирована история становления системы химической подготовки специалистов-аграриев в России, осуществлено раскрытие организационных, методических, содержательных, мировоззренческих характеристик каждого этапа.

В данной работе приведем обобщенную информацию об основных этапах эволюции системы химической подготовки в России, представленную табл. 10.1.1.

Этапы эволюции системы обучения химическим дисциплинам студентов аграрных вузов в России

Этапы развития	Ключевые концепции и нововведения	Особенности содержания химических дисциплин	Методические аспекты
1. Зарождение и становление (1865-1920)	Заимствование системы преподавания у других вузов и лабораторий, адаптация под свои цели. В результате формируется классическая университетская система преподавания химических дисциплин.	Классические университетские курсы химии неорганической, органической, аналитической.	Большое число часов, отводимых на лекции и лабораторные занятия, лекции-демонстрации, научно-исследовательская работа студентов представлена слабо. Изданные учебники по химии не специализированы для аграрных вузов.
2. Распространение и курс на химизацию сельского хозяйства (1821-1990)	Система обучения направлена на обучение большого числа студентов. В стране появляется много новых аграрных университетов. Система химической подготовки тиражируется. Курс на химизацию сельского хозяйства	Фундаментальность базового химического образования сохраняется. Активно развивается агрохимия. Большое внимание уделяется удобрениям и пестицидам.	Программированный контроль. Учебники по химии специализируются для студентов аграрных специальностей. Студенты в большей степени включены в научно-исследовательскую работу.

<p>3. Снижение химической подготовки (1991-2005)</p>	<p>Экологический кризис приводит к «хемофобии» в сознании многих людей. Экономический кризис приводит к поиску путей с минимальными затратами на образование. Кроме того, переход к Болонской системе высшего образования приводит к серьезному сокращению часов по базовой химической подготовке. Переход от «знаниевого» подхода к компетентностному</p>	<p>Химическая подготовка становится слабее и более поверхностной.</p>	<p>Уменьшается число часов, отводимых на изучение химических дисциплин. Уменьшается доля лабораторных занятий в курсах химических дисциплин.</p>
<p>4. Современный этап (с 2006 по настоящее время)</p>	<p>Ориентация на концепцию устойчивого развития, применение принципов зеленой химии. Цифровизация образовательного процесса.</p>	<p>Химические дисциплины интегрируются с экологией. Возрастает значение физико-химических методов анализа.</p>	<p>Активное использование проектного обучения. Цифровые технологии в обучении.</p>

Рассмотрим более подробно тенденции современного этапа развития химической подготовки будущих аграриев. Согласно Закона РФ от 10 июля 1992 г. № 3266-1 «Об образовании» первым принципом, определяющим отбор содержания современного образования является принцип соответствия содержания образования требованиям развития общества, науки, культуры и личности. Поэтому быстро меняющиеся запросы общества к современному специалисту-аграрию должны своевременно отражаться в содержании его

подготовки, в том числе и химической. Этот тезис иллюстрирует схема (рис.10.1.1).

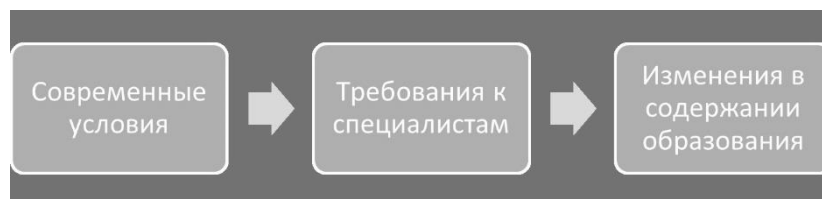


Рисунок 10.1.1 - Процесс, определяющий изменение содержания образования

В настоящее время ключевыми концепциями, определяющими социальный заказ к химической подготовке специалиста-агрария, являются следующие: концепция устойчивого развития; цифровизация; усиление требований к контролю качества сельскохозяйственной продукции; готовность и способность выпускника решать конкретные профессиональные задачи; возможность непрерывного образования. В таблице 10.1.2 представлены способы реализации данных концепций в образовательной практике.

Ряд направлений уже разрабатывается. Реализация концепции устойчивого развития в контексте химической подготовки специалиста-агрария представлена в работах (Григорьева, 2022; Григорьева, Белопухов, 2021). Опыт цифровизации при обучении химическим дисциплинам рассмотрен в работе (Григорьева, 2021). Формирование компетентностей будущих специалистов, определяющих их способность осуществлять контроль качества сельскохозяйственной продукции представлены в работах (Григорьева, 2021; 2022). Реализация компетентного подхода при обучении химическим дисциплинам рассмотрена в работах (Григорьева и др., 2021; Григорьева, Белопухов, 2020). Изучение мнения работающих специалистов по вопросам, связанным с химической подготовкой изложено в статье (Григорьева, 2021). Для осуществления возможности повышения квалификации специалистов агропромышленного комплекса уже составлен ряд программ дополнительного профессионального образования.

Тенденции развития системы химической подготовки специалиста-агрария и пути их реализации

Требования времени, социальный заказ	Направления изменений в химической подготовке	Способы реализации
Устойчивое развитие (знание экологически безопасных сельхозреактивов, понимание сути физико-химических процессов экологичных агротехнологий и т.п.)	Экологизация Принципы зеленой химии	✓ Внесение соответствующих дополнений в базовые курсы ✓ Дополнительные факультативные или онлайн-курсы
Цифровизация (применять цифровые технологии в агропроизводстве)	Цифровизация химической подготовки	✓ Использование цифровых технологий в обучении (онлайн-курсы и т.п.) ✓ Создание баз данных
Контроль качества сельскохозяйственной продукции (для большинства выпускников – понимать какой аналитический метод для чего применяют, а также знание пробоподготовки и умение интерпретировать результаты; для отдельной категории – владение методами анализа)	Усиление роли физико-химических и других аналитических методов	✓ В базовых курсах обязательное включение кратких сведений о методах анализа ✓ Дополнительные факультативные или онлайн-курсы ✓ Магистерская программа «Химико-токсикологический анализ объектов агросферы»
Компетентностный подход (уметь решать профессиональные задачи)	Усиление деятельностного (практического, исследовательского) компонента в процессе обучения	✓ Проектное обучение ✓ Учебно-исследовательская работа ✓ Методы контроля в форме решения учебно-исследовательских задач
Непрерывное образование (повышение квалификации в течении профессиональной деятельности в соответствии с новыми условиями и запросами общества)	Разработка курсов повышения квалификации по запросам слушателей	✓ Программы повышения квалификации ✓ Онлайн-курсы ✓ Очные курсы с лабораторным практикумом

Таким образом, более чем полуторавековая история развития химической подготовки специалиста-агрария подтверждает то, что движущими силами развития образовательной системы являются

потребности общества, обуславливающие изменение требований к специалистам. В настоящее время также перед нами стоит ряд задач по реализации концепций, задаваемых современным развитием общества, экологическим состоянием территорий нашей страны и планеты в целом, а также достижениями науки и техники.

10.2. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СОВРЕМЕННОЙ ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ АГРОСФЕРЫ

Инструментальный контроль качества сырья, получаемого в результате переработки продукции сельскохозяйственного производства, одна из важнейших задач не только агропромышленного комплекса, но и приоритетная задача выполнения экономических и политических государственных программ.

Достигнутый в последние годы прогресс в области инструментальных методов анализа, а также программных средств обработки информации позволил создать новое поколение приборов и экспресс-анализаторов для контроля состава и качества всевозможных материалов (Белопухов и др., 2015a; Zhevnerov и др., 2021).

В ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был основан Учебно-научный центр «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» в 2007 г. Во исполнение плана реализации мероприятий по формированию инновационной инфраструктуры Университета в рамках инновационной образовательной программы (ИОП) «Формирование инновационной образовательной среды в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для подготовки нового поколения специалистов аграрного профиля» и до 2021 г. располагался на базе кафедры химии. В 2021 г. в рамках реализации ведомственной целевой программы «Научно-

техническое обеспечение развития отраслей агропромышленного комплекса», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. N2 717, на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» создан федеральный центр компетенций для развития образовательной, научной, научно-технической, научно-методической, экспертной, маркетинговой, информационно-аналитической деятельности и получения результатов, необходимых для разработки технологий, производства продукции, товаров и оказания услуг, обеспечивающих независимость и конкурентоспособность отечественного АПК (Рис. 10.2.1)



Рисунок 10.2.1 – УН ЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений»

Первостепенной задачей центра является обеспечение условий для подготовки высококвалифицированных кадров в АПК в части минимизации использования синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, увеличения урожайности, обеспечения культурных растений элементами минерального питания, борьбы с вредителями и сорняками, получения семян новых отечественных сортов и племенной продукции (материала), животноводства.

В состав УНЦКП входят научно-исследовательские лаборатории. Лаборатория химического анализа осуществляет анализ вторичных метаболитов, продукции растениеводства и животноводства, отходов АПК,

аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов, физико-химических показателей, химико-токсикологический анализ. Лаборатория почвенно-агрохимических исследований осуществляет анализ почв, грунтов, агрохимикатов, воды, воздуха. Лаборатория геномного анализа осуществляет анализ генома, микробиома растений, животных. Лаборатория анализа кормов осуществляет анализ кормов, кормовых добавок, оценка качества сельскохозяйственной продукции, химического состава растений. Лаборатория физиологии питания животных проводит определение активности пищеварительных ферментов, изучение метаболизма у животных при использовании в рационе кормовых добавок с использованием фистульных методов.

Направления научных исследований, проводимых УН ЦКП:

- ✓ Комплексный анализ и установление строения индивидуальных соединений, а также компонентов сложных смесей органических и неорганических соединений (природных и синтетических);
- ✓ Установление строения биологически активных природных соединений растительного и животного происхождения и синтетических аналогов биологически активных природных соединений;
- ✓ Разработка новых методик определения состава и качества целевых продуктов сельскохозяйственного производства в процессе селекции новых сортов растений, пород животных, в том числе при интродукции диких видов;
- ✓ Метагеномные исследования, поиск новых генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям у растений и животных на основе генотипирования, в т. ч. полногеномного;
- ✓ Применение новых биотехнологий для глубокой переработки растительного сырья;
- ✓ Подготовка магистрантов, аспирантов, слушателей курсов повышения квалификации и системы дополнительного профессионального

образования по программам «Физико-химические методы исследования в агроэкологии», «Сельскохозяйственная органическая химия», «Химико-токсикологический анализ и оценка объектов агросферы», «Разведение, генетика и биотехнология животных», «Генетика животных с основами биоинформатики» и др.

Все анализы выполняются на современном оборудовании: элементный анализ – атомно-абсорбционный анализ, анализатор азота и углерода, газовая хроматография-масс спектрометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография-масс спектрометрия, термогравиметрический анализ, ИК-спектрометрия, анализатор аминокислот и сахаров, анализатор молочной продукции и молока.

Также УНЦКП осуществляет экспресс-оценку качества продукции АПК, формирование баз данных по питательным компонентам (химическому составу, энергетическим характеристикам) продуктов питания, сырья растительного и животного происхождения, кормам, кормовым добавкам, объектам агросферы.

Конкурентными преимуществами УНЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» являются:

- концентрация на одной площадке суперсовременной приборной базы;
- высокая научная квалификация (компетенции) кадрового состава;
- четкая и гибкая процедура работы с заинтересованными внешними исследователями (включая проведение научных конференций участников внешней программы научных исследований);
- прозрачное финансовое обеспечение работы научного оборудования для реализации программы научных исследований;
- реализация программ ДПО на высочайшем научно-методическом уровне.

10.3. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Увеличение антропогенного воздействия на окружающую среду приводит к загрязнению окружающей среды и сокращению природных ресурсов. Важной задачей АПК на сегодняшний день – это рациональное природопользование, что возможно достигнуть благодаря внедрению малоотходных и безотходных технологий, основанных на использовании всего сырья, в том числе целлюлозосодержащих отходов, которые образуются и накапливаются на предприятиях (Белопухов и др., 2016)

При переработке льна и конопли на волокно основным отходом производства является костра. В стебле содержится волокна 20-30 %, соответственно отходов до 70-80 %. Средняя урожайность льнотресты в России достигает до 20-40 ц/га, а отходов, возможно, получить до 28 ц/га.

При переработке льно- и пенькотресты остающаяся костра накапливается в отвалах на заводах, либо сжигается, что приводит к загрязнению окружающей среды. Поступив в отвалы костра, под воздействием природных, климатических факторов и микроорганизмов подвергается процессам минерализации с образованием продуктов разложения. Однако не вся масса органических компонентов минерализуется до конечных продуктов. Часть из них превращается в относительно устойчивые гуминовые вещества (ГВ). Гумифицированная льняная и пеньковая костра может быть источником получения физиологически активных веществ.

ГВ в форме различных гуминовых препаратов находят разнообразное применение в технике (в качестве поверхностно-активных веществ, сорбентов) и экологии (как часть комплекса мер, направленных на ремедиацию поврежденных, загрязненных или истощенных почв, а также мелиорантов). Наиболее интересной является возможность использования

потенциала физиологической активности ГВ в форме регуляторов роста для растений, ветеринарных и медицинских препаратов.

Несмотря на многолетние исследования ГВ, до сих пор не установлено однозначного соответствия между особенностями их структуры, состава и различными проявлениями физиологической активности. Конкретные количественные соотношения между структурными составляющими ГВ определяют характер их биологического действия и обуславливают различия между ГВ, полученными по различной технологии или из различного исходного сырья. Кроме того, отдельные фракции гуминовых веществ, являющихся многокомпонентными природными смесями сложных органических соединений, до сих пор остаются мало изученными (Белопухов и др., 2016; Савич и др., 2017).

В связи с вышесказанным, в наших исследованиях был определен химический состав исходной костры льна, а далее гумифицированной. Термогравиметрический анализ является одним из методов, с помощью которого можно с большой точностью оценить преобразования, происходящие в пробе в течение нагрева, выражающимися в изменении массы (Гришина, Белопухов, 2013). На рис. 10.3.1 представлена термограмма костры льна-долгунца.

Данные дифференциально-термического анализа использовались для расчёта содержания воды, органических и минеральных компонентов в костре льна, в среднем было установлено, что содержание гигроскопической влаги – 4 %, содержание органических компонентов – 87-88 %, содержание минеральных компонентов – 8-9%. По данным таблицы 10.3.1 можно оценить химический состав костры разных сортов льна-долгунца, полученный методом БИК анализа. Установлено, что содержание целлюлозы 48-53 %, белков 2,3-2,7 %, липидов 3,5-4,7 %, кальция 0,45-0,67 %, фосфора 0,35-0,45 %, калия 0,10-0,19 %. В среднем по сортам льна было различие в целлюлозе до 3,9 %, белков 0,2-0,3 %, липидов 1-1,2 %, золы 0,3-0,7 %, кальция и фосфора 0,1-0,2 %.

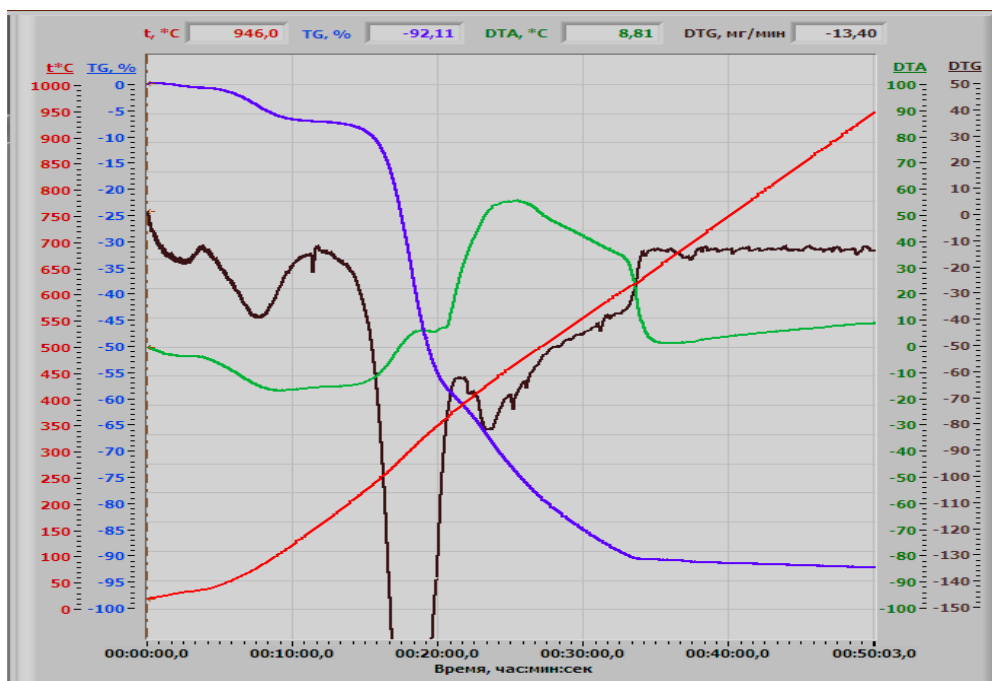


Рисунок 10.3.1 – Термограмма костры льна-долгунца

Таблица 10.3.1

Химический состав костры льна – долгунца, % на абсолютно сухое вещество (Белопухов и др., 2016)

Сорта	Белки	Липиды	Целлюлоза	Зола	Са	Р	К
Антей	2,33	3,53	50,70	3,67	0,52	0,45	0,10
ГОСТ 5	2,34	3,67	50,30	3,95	0,45	0,42	0,18
Восход	2,54	3,72	51,20	3,82	0,58	0,39	0,17
Зарянка	2,27	3,58	48,70	4,04	0,65	0,35	0,15
Александрит	2,30	3,67	52,60	4,33	0,67	0,39	0,19
Альфа	2,66	4,72	51,20	4,23	0,59	0,35	0,15
НСР ₀₅	0,2	0,3	2,0	0,3	0,05	0,05	0,01

На БИК спектрах отмечено близкое значение пиков в диапазонах измерения белков, липидов, целлюлозы (1800-2400 нм) у костры разных сортов льна (рис. 10.3.2).

Ранее было определено, что костра льна до 30-40 % может содержать лигнин, из изомеров целлюлозы: альфа-целлюлозы 20 %, холоцеллюлоза 30-35 %, трудногидролизуемых полисахаридов 24-25%, веществ, экстрагируемых водой, 8-9 %, веществ, экстрагируемых органическими

растворителями, 5,4 %. У костры степень полимеризации составляет 850 % (Гришина, Белопухов, 2012).

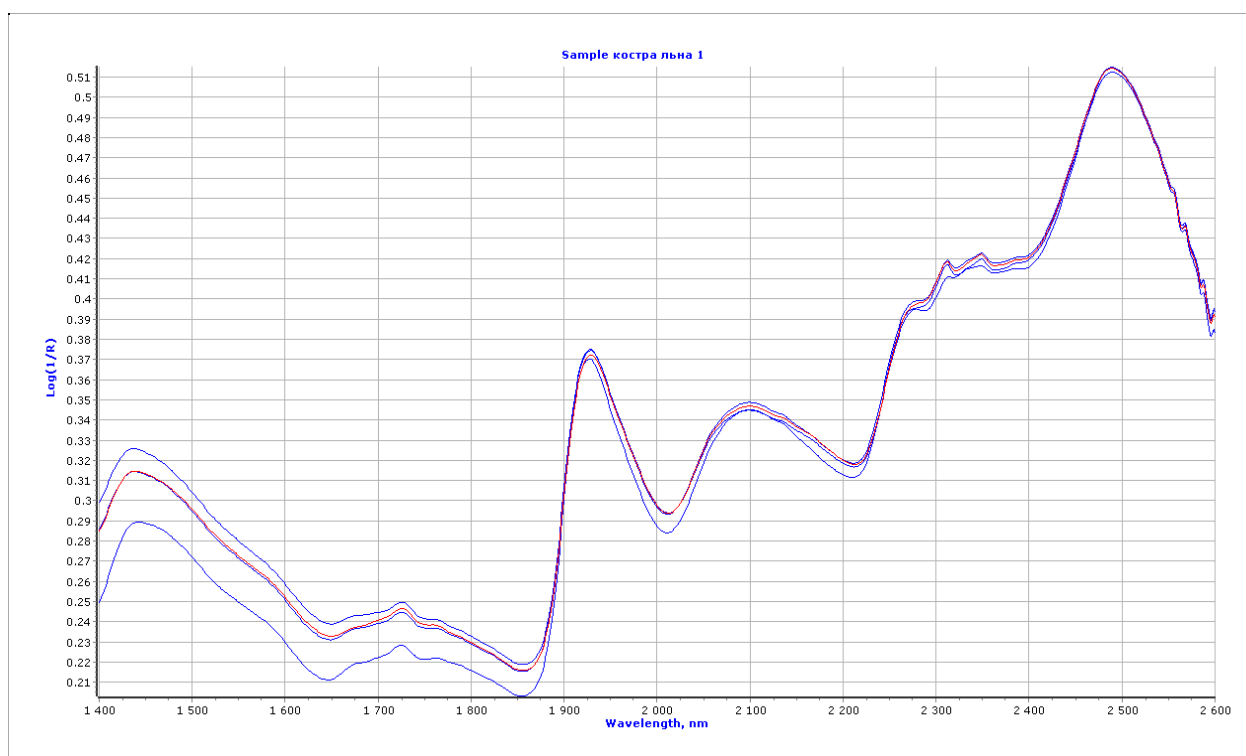


Рисунок 10.3.2 – БИК - спектры костры льна - долгуна сортов Антей, ТОСТ 5, Восход, Зарянка

Дифференциально – термический анализ гумифицированной костры показал, что содержание воды 2-3 %, органических компонентов 53-55 % и 44-45 % минеральных компонентов, следовательно, если сравнить результаты по данным компонентам с исходной кострой, то при разложении ее происходит активная минерализация и разложение органических веществ. Фракционно – групповой состав органических веществ гумифицированной костры представлен в таблице 10.3.2.

Группа соединений, извлекаемых органическими растворителями, называется битумами (Б). Б содержат: воска, смолы, парафиновые, терпеновые и ароматические углеводороды, а также такие кислородсодержащие соединения, как спирты, кислоты, эфиры. Содержание их в растительных остатках костры не превышает 2%. Водорастворимые (ВР) и легкогидролизуемые вещества (ЛГ) представляют собой углеводный

комплекс, в состав которого входят пентозы, гексозы, уроновые кислоты в количестве до 25%. Целлюлоза относится к трудногидролизуемым веществам (ТГ), ее содержание находится на уровне 5%. Негидролизуемый остаток (НГ) состоит из лигнина, его азотсодержащих производных и промежуточных продуктов гумификации, содержание его достигает 30%. На долю щелочной фракции гуминовых кислот (ГК) приходится – 33%, фульвокислот - 5% (Белопухов, Дмитревская, 2016).

Таблица 10.3.2

Фракционно-групповой состав органического вещества костры
(Белопухов и др., 2016)

Показатель	Значение, %
Битумы (Б)	1,7±0,06
Гуминовые кислоты (ГК) щелочная фракция	32,7±1,60
Фульвокислоты (ФК)	4,8±0,14
Водорастворимые и легкогидролизуемые вещества (ВР+ЛГ)	25,3±1,08
Трудногидролизуемые вещества (ТГ)	4,7±0,21
Негидролизуемый остаток (НГ)	29,3±1,41

Из гумифицированной костры путем экстракции был получен органо-минеральный комплекс (ОМК), физиологическое действие которого было апробировано нами на льне-долгунце, льне масличном, конопле, а также на белом люпине, озимой пшенице (Гришина, 2015; Гришина, Белопухов, 2012), зеленных культурах – базилик (Баят и др., 2019; Баят, Белопухов, 2016) и других.

Гумифицированную костру сначала измельчали на специальной мельнице «Циклон» до размера частиц 1 мм, экстракция ОМК проведена по следующим этапам:

- Обработка измельченной костры растворами NaOH и KOH (1M, 0,1M);
- Набухание и перемешивание смеси;

- Центрифугирование (7500 об./мин, 15 минут) и фильтрация.

В наших исследованиях полученные экстракты ОМК по данным ИК спектроскопии в областях полос поглощения $4000-2800\text{ см}^{-1}$ показали наличие: водородносвязанных гидроксильных и фенольных групп, адсорбционной воды, ассиметрических и симметрических алифатических цепей. В данной области все экстракты вне зависимости от экстрагента не имели значительных различий.

В области полос поглощения $1900-400\text{ см}^{-1}$ для экстрактов, наиболее интенсивной является полоса поглощения 1600 см^{-1} , которая может быть вызвана $\text{C}=\text{C}$ связями в ароматических кольцах, при этом не исключено влияние $\text{C}=\text{O}$ связей в карбоксильных группировках, адсорбированной воды. Полоса 1384 см^{-1} может быть обусловлена деформационными колебаниями $\text{C}-\text{H}$ в CH_2 и CH_3 группах, колебаниями OH -групп фенольных соединений. Область интенсивного поглощения, расположенная в диапазоне $1200-1000\text{ см}^{-1}$ представлена широкой полосой, с несколькими максимумами $1120, 1088\text{ см}^{-1}$, может соответствовать спиртовым гидроксилам, эфирным группам или ароматическим фрагментам. Полосы поглощения 516 и 468 см^{-1} имеют незначительную интенсивность и вызваны компонентами зольной части гумусовых кислот (рис. 10.3.3) (Белопухов, Дмитревская, 2016).

Для ОМК экстрагируемого 1M NaOH , 1M KOH характерно появление интенсивных полос в области $400 - 1000\text{ см}^{-1}$, что говорит о более высокой зольности. Таким образом, полученные данные указывают на сложность структуры изучаемых соединений, что обусловлено наличием большого количества функциональных группировок: алифатические цепочки, гидроксильные и карбоксильные радикалы, ароматические кольца и эфирные группы. Подобные данные характерны для гуминовых веществ и опубликованы многими исследователями (Безуглова, Горбов, 2013; Белопухов и др., 2016).

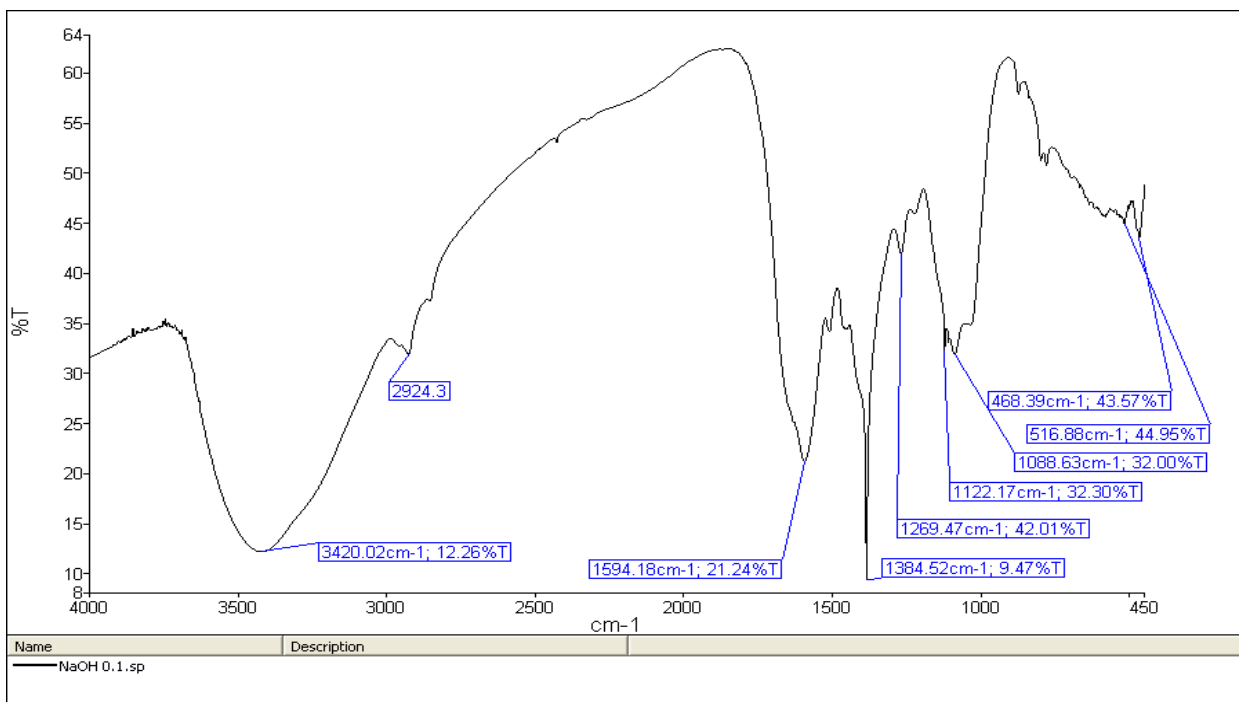


Рисунок 10.3.3 – ИК спектр ОМК, экстрагируемый NaOH 0,1М (Белопухов, Дмитриевская, 2016)

Посредством термического и термогравиметрического анализов можно оценить содержание периферических и центральных группировок в составе молекул ГВ. При температуре 50-60°C удаляется не связанная вода, при 80-120°C – адсорбционная вода. До 400°C происходит деструкция периферической части, декарбоксилирование, дегидратация и расщепление скелета алифатических цепей. В диапазоне 400-700°C характерно разрушение более устойчивых алифатических цепей и бензоидных структур.

При температуре выше 600°C происходит разрушение наиболее устойчивых компонентов ароматического ядра, выделение и окисление водорода и углерода.

Профессором кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, доктором сельскохозяйственных наук Черниковым В.А. предложена оценка данных термического анализа гуминовых веществ с использованием коэффициента «Z». Z – это отношение потери массы в низкотемпературной области, к потере в высокотемпературной области. Коэффициент Z дает представление количественной оценки участия

периферических радикалов и центральных группировок в составе ГВ (таб. 10.3.3).

Таблица 10.3.3

Значения коэффициента Z для разных экстрактов ОМК (Белопухов, Дмитревская, 2016)

Экстракты ОМК	Z
КОН 0,1М	0,82
NaOH 0,1М	0,68
КОН 1М	1,45
NaOH 1М	1,59

Анализируя коэффициент Z можно сделать вывод, что препараты ОМК КОН 1М и NaOH 1М имеют развитую периферическую часть молекулы и более низкую степень ароматичности (коэффициент Z 1,45; 1,59), что вероятно связано с содержанием фульвокислот в составе препаратов ОМК. Поскольку фульвокислоты имеют более выраженную периферическую часть с боковыми радикалами и менее конденсированную ароматическую часть.

В таблице 10.3.4 представлены данные о химическом составе ОМК, выделенного разными экстрагентами, по расчетам термического анализа.

Таблица 10.3.4

Химический состав экстрактов ОМК из льняной костры, % (Белопухов, Дмитревская, 2016)

Экстракты ОМК	Вода	Органические компоненты	Минеральные компоненты
КОН 0,1М	11,1 ± 0,5	31,1 ± 1,2	57,8 ± 2,4
NaOH 0,1М	8,7 ± 0,4	44,1 ± 1,9	47,2 ± 1,8
КОН 1М	5,0 ± 0,2	42,1 ± 1,5	54,0 ± 2,5
NaOH 1М	3,2 ± 0,2	37,2 ± 1,3	59,7 ± 3,0

По компонентному составу ОМК можно отметить, что больше всего извлечение органических веществ было с использованием NaOH 0,1М – 44

%, а наименьшее КОН 0,1М – 31 %, при этом минеральных компонентов больше в варианте с NaOH 1М – 60 %. Содержание воды уменьшается с увеличением концентрации экстрагентов с 11% до 3%. Вероятно, вода включается в ассоциаты (комплексы кристаллогидратов) с гидроксидом. Результаты дифференциально-термического анализа показывают, что ОМК экстрагируемый из гумифицированной льняной костры 0,1М NaOH имеет наибольшее содержание органического вещества и наименьшую зольность (Белопухов, Дмитревская, 2016).

Элементный анализ ОМК из льняной костры, полученный при экстракции с использованием 0,1М NaOH можно сравнить с данными Rice J.A., который проанализировал более 650 препаратов гуминовых и фульвокислот (таб. 10.3.5).

Таблица 10.3.5

Элементный состава ОМК (экстрагент 0,1М NaOH) (Белопухов, Дмитревская, 2016)

Наименование показателя	Содержание
С, масс % на сух. вещ.	47,0±2,4
О,% масс на сух. вещ.	46,0±2,0
Н,% масс на сух. вещ.	3,5±0,2
Н, масс % на сух. вещ.	2,7±0,1
Na, % на сух. вещ.	9,0±0,6
Ca, % на сух. вещ.	2,8±0,2
Mg, % на сух. вещ.	0,4±0,02
Р общий, % на сух. вещ.	0,7±0,04
К общий, % на сух. вещ.	1,8±0,1

В нашем препарате ОМК невысокое содержание углерода, повышенное содержание кислорода, азот находится на уровне средних значений. Содержание Na на уровне 9% объясняется использованием в качестве экстрагента водного раствора NaOH.

Проведен анализ ОМК, полученного с использованием разных экстрагентов, на содержание углерода гуминовых и фульвокислот и содержание сухого вещества (таблица 10.3.6).

Таблица 10.3.6

Содержание сухого вещества, общего углерода, углерода гуминовых и фульвокислот в ОМК (Белопухов, Дмитриевская, 2016)

Вариант	содержание углерода, мг/мл			Содержание сухого вещества, %
	Общее	Гуминовых кислот	Фульвокислот	
КОН 0,1М	3,90±0,20	3,17±0,16	0,38±0,02	1,11±0,18
КОН 1М	6,28±0,33	4,32±0,22	1,89±0,10	6,42±1,11
NaOH 0,1М	6,31±0,31	5,33±0,25	0,71±0,04	1,83±0,11
NaOH 1М	5,59±0,27	3,38±0,18	1,96±0,10	9,37±1,79

Анализ данных таблицы показал, что максимальное содержание углерода в вытяжке наблюдается при использовании в качестве экстрагента 0,1М раствора NaOH и 1М КОН, минимальное при использовании 0,1М КОН. При этом содержание ГК и ФК различается в зависимости от концентрации экстрагента. Наибольшее содержание углерода ФК наблюдается при больших концентрациях: 1М NaOH и 1М КОН, в то время как величина содержания углерода ГК максимальна при концентрации 0,1М NaOH. При использовании в качестве экстрагента растворов гидроксидов натрия и калия с концентрацией 1М происходит уменьшение соотношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот в 3,4-4,8 раз.

Максимальный выход сухого вещества получен при использовании экстрагента 1М NaOH – 9,4 %, при использовании 0,1 М NaOH этот показатель - 1,8 %. Однако наибольшее содержание углерода наблюдается при использовании экстрагента концентрации 0,1М NaOH. В случае применения более концентрированного щелочного раствора для экстракции увеличивается зольность полученных препаратов, кроме того, щелочная реакция растворов и наличие в них остатков непрореагировавшей щелочи

ограничивает применение вытяжек в качестве регуляторов роста и развития растений. Также менее концентрированный раствор NaOH в качестве экстрагента предпочтительней, чем более концентрированный KOH потому, что в процессе обработки раствором высокой концентрации гумусовые вещества могут потерять свою нативную структуру и утратить многие ценные свойства. Таким образом, 0,1 М NaOH является наиболее эффективным экстрагентом для выделения ГВ из остатков льняной костры (Белопухов, Дмитревская, 2016).

Получение почвогрунта для посева и проращивания семян сельскохозяйственных культур

Обеспечение населения страны основными отечественными продуктами в размерах, достаточных для рационального питания, и выход на пороговые значения продовольственной безопасности возможны при выполнении инновационных проектов, способных реализовать принципиально новые подходы к решению проблемы аграрного сектора в условиях ресурсосбережения (Демиденко, Жирнова, 2015).

В наших исследованиях был получен почвогрунт с использованием гумифицированной льняной костры (отходы при переработке льняной тресты) и льняных угаров (отходы при переработке льняного волокна), который был запатентован (Патент № 254989). Почвогрунт предназначен для посева и проращивания семян сельскохозяйственных культур, огородных, лекарственных растений, посадке луковиц или клубнелуковиц, а также при высадке в грунт выращенной в теплице рассады растений. Содержит данный грунт смесь биологически активных веществ и биоразлагаемый в почве сорбент. В качестве биологически активных веществ он содержит вещества на основе щелочных вытяжек из гумифицированной льняной костры, а в качестве биоразлагаемого в почве сорбента для поглощения воды и

питательных растворов – льняные угары. Соотношение между гумифицированной льняной кострой и льняными угарами составляет 1:0,8-1,2 по массе. Почвогрунт может быть выполнен в виде сыпучей смеси или в спрессованном виде в форме таблеток круглой или прямоугольной формы (Белопухов и др., 2016).

Прилипатель для пестицидов

В современных многокомпонентных минеральных удобрениях присутствуют такие вещества, как аммиачная селитра, карбамид, нитрасоединения и т.п., которые трансформируются в системе почва-растение и активно включаются в общебиологический круговорот веществ, обеспечивая потребности вегетирующих растений. Но наряду с известными преимуществами, эти формы удобрений имеют существенные недостатки: испаряемость, высокую растворимость в воде, повышенную вымываемость из пахотного слоя, что приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, а также растения не получают нужного количества питательных веществ. Следовательно, актуальным является разработка и создание таких форм удобрений, которые обладают пролонгированным действием, что обеспечивает эффективное использование их в течение всего периода вегетации. Большой практический интерес представляют методы улучшения качества удобрений, которые не столь значительно усложняют технологический процесс их производства и не требуют использования дефицитных и дорогостоящих реагентов и кондиционирующих добавок. Нанесенная на поверхность частиц оболочка создает дополнительное сопротивление массопереносу в процессе растворения. Как результат, увеличивается коэффициент использования данных удобрений, что позволяет сократить их количественное внесение в почву. Использование в качестве материала защитной оболочки органических отходов является

актуальным, поскольку решает задачи получения органо – минеральных удобрений пролонгированного действия и одновременно проблему утилизации отходов (Острога и др., 2016).

В последние десятилетия большое применение нашла не только грануляция удобрений, но гранулирование семян совместно с комплексом минеральных удобрений перед посевом. Для этой цели используют различные прилипатели. Широкое использование нашли прилипатели на основе природного сырья, например, лигнина (Симонова и др., 2010).

В нашу задачу входило получить прилипатель с комплексом минеральных солей для предпосевной обработки семян белого люпина, а также повышение биологической эффективности препаратов при одновременном снижении расхода органических растворителей, повышении адгезии прилипателя к поверхности семени, снижении энергозатрат и времени на приготовление баковой смеси (Патент 2546282).

Указанная задача достигается тем, что прилипатель для пестицидов и предпосевной обработки семян белого люпина, включающий неионогенное поверхностно-активное вещество и водорастворимое органическое вещество, дополнительно содержит водорастворимые неорганические вещества: борную кислоту, молибденовокислый аммоний, нитрат марганца (II), сульфат цинка, сульфат кобальта (II), сульфат меди (II), при этом в качестве неионогенного поверхностно-активного вещества содержит смесь полиэтиленгликолевых эфиров жирных спиртов строения общей формулы $\text{HO}(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-)_m\text{R}_1$, где $m=2-10$; R_1 =алкил $\text{C}_6 -\text{C}_{12}$, а в качестве водорастворимого органического вещества содержит органоминеральный комплекс (ОМК), полученный путем экстракции из гумифицированной льняной костры. Соотношение компонентов в прилипатели представлено в таблице 10.3.7 (Белопухов и др., 2015).

Биологическая эффективность прилипателей (рис. 10.3.4), приготовленных с содержанием ОКМ, массовая доля 2% и 10 % оценивали по всхожести семян белого люпина сорта Дега после их обработки

растворами (ГОСТ 12038), в качестве контроля были взяты семена без обработки. Всхожесть семян и длина проростков белого люпина были выше при использовании прилипателя с добавкой ОМК с массовой долей 2%, соответственно на 15 % и 22 % относительно контроля. В варианте применения прилипателя с добавкой ОМК с массовой долей 10 % эти показатели не существенно отличались относительно контроля (4-5 %).

Таблица 10.3.7

Содержание компонентов прилипателя для семян белого люпина, % масс (Белопухов и др., 2015)

Вещество	% масс
Неионогенное поверхностно-активное вещество	0,2 – 0,4
ОМК	2 - 10
Борная кислота	0,4 – 0,5
Молибденовокислый аммоний	0,4 – 0,5
Нитрат марганца (II)	0,4 – 0,5
Сульфат цинка	0,4 – 0,5
Сульфат кобальта (II)	0,4 – 0,5
Сульфат меди (II)	0,4 – 0,5
Вода	остальное

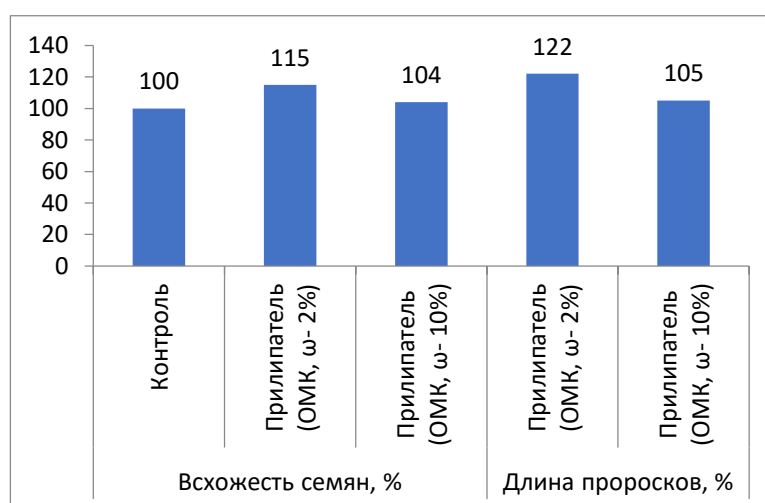


Рисунок 10.3.4 – Всхожесть семян и длина проростков белого люпина, прибавка % к контролю

Кормовая добавка для животных

Различные сухие корма и кормовые добавки в виде комбикорма, кормовой муки или гранул из отходов растительного и животного происхождения широко используются в животноводстве и птицеводстве. Известные корма и добавки для животных во многих случаях несбалансированны по содержанию входящих компонентов, микроэлементов и витаминов. Назначение и область применения их носит ограниченный характер по объектам кормления, а процесс получения не рационален и энергозатратен. В некоторых кормах и добавках используются без должного обоснования натуральные пищевые продукты и в то же время часто отсутствуют компоненты растительного происхождения необходимые для сбалансированного питания животных. В большинстве случаев для приготовления кормов и добавок используется мясокостная мука (МКМ) Производство МКМ является достаточно сложным и энергоемким, от чего существенно возрастает себестоимость готовой продукции. Поэтому создание рациональной энергосберегающей технологии приготовления сбалансированных видов корма (кормовых добавок) для сельскохозяйственных и других животных, птиц и рыб является очень актуальным на сегодняшний день (Авроров и др., 2016; Антимонов и др., 2010; Белопухов и др., 2016).

Костра конопли и льна, как было отмечено нами ранее, является основным отходом производства волокна, на долю, которой приходится 70-80% биомассы растений. Костра используется для изготовления костробетона, гипсокартона, костроплит, набивки мягкой мебели, в животноводстве для подстилки животных, в химической промышленности в качестве адсорбентов, топливо и при изготовлении спирта (Белопухов и др., 2015; Белопухов и др., 2016).

Перспективным направлением использования льняной костры представляется применение ее в животноводстве при кормлении

сельскохозяйственных животных, в составе производимых полнорационных комбикормов. Как известно, в таких комбикормах необходимо знать соотношение питательных компонентов, прежде всего, белков, жиров и углеводов, которые влияют на высокую перевариваемость и усвояемость корма животными, энергетическую ценность корма. При этом выход высококачественной по химическому составу продукции можно увеличить, применяя предпосевные обработки семян или обработку растений во время вегетации физиологически активными веществами (Белопухов и др., 2016; Зайцев и др., 2016).

Экспресс методом определения химического состава костры технических культур может стать БИК анализ (Белопухов и др., 2016; Жарких, 2018; 2021). Аналитическая база стандартов образцов костры льна-долгунца, льна масличного, технической конопли сформированная нами, позволила определить белки, липиды, клетчатку (целлюлозу), золу, а также кальций и фосфор в костре. В таблице 10.3.8 и рисунок 10.3.7 представлены данные по содержанию целлюлозы в костре льна-долгунца разных сортов, определение произведено классическим химическим методом анализа (ГОСТ 6840) и методом БИК анализа. Образцы костры были взяты от растений, выращенных по технологии применения на них исследуемых препаратов (2010-2013 гг.). Разница в данных двух методов анализа составляет 0,5-0,8 %. Применение препаратов на льне приводило к увеличению целлюлозы в костре льна на 2-9 % относительно контроля, различие между вариантами с Флоравитом и ОМК не существенно (1-3 %). У сорта ТОСТ 5 на фоне применения препаратов увеличение целлюлозы в костре было меньше, чем у других сортов и составило на 2-5 % относительно контроля.

Состав костры льна масличного похож по составу льна – долгунца (таб. 10.3.9). Отмечено, что при действии Флоравита увеличивается в костре содержание белков на 1,5-2 %, липидов на 1,0 -2,0 %, клетчатки на 2,4-2,6 %, золы на 0,3-0,9 %, кальция на 0,1-0,2 %, фосфора на 0,1-0,2% относительно контроля (Белопухов и др., 2016).

Костра технической конопли близка по химическому составу костры льна (Жарких, 2021; Trukhashev и др., 2021). В химическом составе костры конопли сорта ЮСО 31 выделяется высокое содержание клетчатки, так же как у льна и составляет 50,5-57,9 %. Применение ОМК способствовало увеличению содержания белка, клетчатки относительно контроля.

Таблица 10.3.8

Определение целлюлозы в костре льна - долгунца, % на абсолютно сухое вещество (Енакиев и др., 2018)

Метод	Сорт	Контроль	Агрохимикаты	
			Флоравит	ОМК
Химический метод	Антей	55,2 ± 1,9	60,1 ± 2,1	60,1 ± 2,1
БИК		55,8 ± 1,8	59,3 ± 2,0	60,4 ± 2,0
Химический метод	Восход	53,2 ± 1,8	59,1 ± 2,1	55,4 ± 1,9
БИК		53,5 ± 1,8	59,2 ± 2,0	56,1 ± 1,9
Химический метод	Мерелин	60,7 ± 2,2	64,5 ± 2,3	62,3 ± 2,3
БИК		61,1 ± 2,2	64,1 ± 2,4	63,1 ± 2,0
Химический метод	ТОСТ 5	57,9 ± 2,0	60,3 ± 2,2	58,9 ± 2,1
БИК		57,1 ± 2,0	59,8 ± 2,1	59,4 ± 2,1

Таблица 10.3.9

Химический состав костры льна масличного, % на абсолютно сухое вещество (Белопухов и др., 2016)

Сорт, варианты опытов	Белки	Липиды	Клетчатка	Зола	Са	Р
Северный, контроль	1,2	1,6	48,9	2,1	0,8	0,5
Северный, Флоравит	3,1	2,7	49,3	2,7	1,0	0,6
Исток, контроль	2,6	2,9	47,6	3,3	0,8	0,6
Исток, Флоравит	4,1	4,8	50,0	3,6	1,0	0,8
ЛМ 98, контроль	2,0	2,0	47,5	2,1	0,7	0,5
ЛМ 98, Флоравит	4,0	3,2	50,1	3,0	0,8	0,7
НСР ₀₅	0,1	0,1	1,4	0,1	0,04	0,03

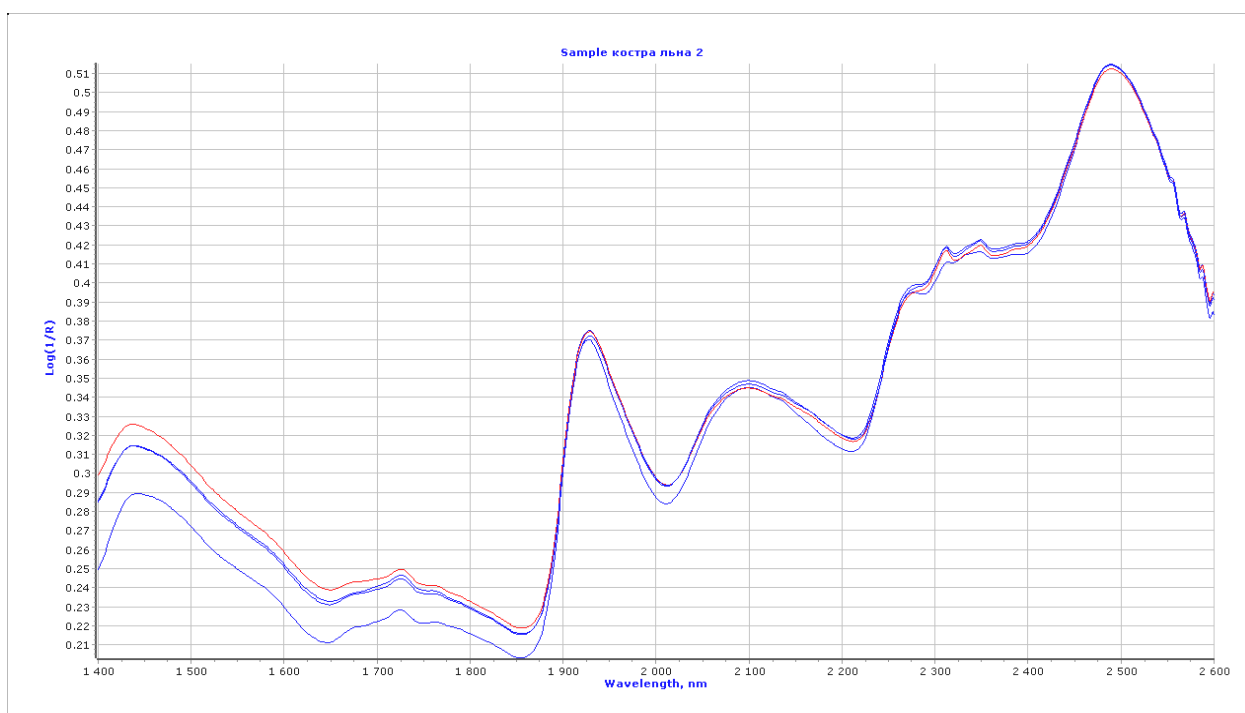


Рисунок 10.3.5 – БИК – спектры костры льна-долгунца, сверху вниз: Флоравит, ОМК, контроль

Таблица 10.3.10

**Химический состав костры конопли сорта ЮСО-31
(Белопухов и др., 2016)**

Обработка	Содержание %, на абсолютно сух. вещество					
	Белки	Липиды	Клетчатка	Зола	Са	Р
Контроль	3,5	1,5	50,5	3,1	0,8	0,4
ОМК	4,3	1,5	55,6	3,1	0,8	0,7
НСР ₀₅	0,1	0,04	1,7	0,1	0,02	0,03

В ходе исследований было установлено, что костра, которая в своем химическом составе содержит много клетчатки 45-65 %, а также 1,5-5% белков и липидов, 2-4% золы может быть включена (10-20 %) в качестве кормовой добавки в корм животным (Белопухов и др., 2016).

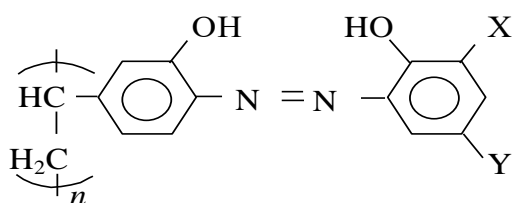
10.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЦИНКА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ

Физиологическая активность цинка связана, главным образом, с включением его в состав многих металлоферментов, участвующих в природной селекции аэробных клеток, в окислительно-восстановительных процессах тканей, иммунной реакции, а также стабилизации рибосом и мембран клеток (Basargin и др., 2008). Цинк характеризуется как большой биохимической активностью, позволяющей считать его индикатором терригенного стока, седиментации, так и высокой эффективностью накопления в водорослях и планктоне, что определяет его особую значимость для биоты (Роева и др., 1996). Вместе с тем, этот металл обладает кумулятивным действием: он способен накапливаться в определенных органах, особенно в печени и почках, соответственно, может представлять онкогенную и мутагенную опасность (Осипова, Махнин, 2019). В основе проявления цинковой интоксикации лежат конкурентные отношения цинка с рядом других металлов (Басаргин и др., 2007). Избыточное поступление цинка в организм человека и теплокровных животных сопровождается падением содержания кальция в крови и костях, одновременно нарушается усвоение фосфора (Белокурова и др., 2019). Экологический контроль подобных элементов – токсикантов на уровне значительно ниже ПДК (5 мг/л в питьевых, 2 мг/л – в сточных, 1 мг/л – в природных водах) (Луцко, Осипова, 2019) требует разработки и применения простых экспрессных и избирательных методов анализа объектов окружающей среды, в первую очередь, питьевых и природных вод (Луцко и др., 2018).

Этим требованиям удовлетворяют сорбционные методы концентрирования с применением полимерных комплексообразующих сорбентов (ПКС), содержащих в своей матрице хелатообразующие функционально-комплексообразующие группы (ФКГ). Сорбенты

нетоксичны, устойчивы (в растворах и в сухом виде) при длительном хранении, а твердые концентраты удобны для транспортировки в экспедиционных условиях (Оскотская и др., 2015). Использование методов предварительного концентрирования позволяет выделять микроэлементы из большого объема солевого раствора сложного состава, понизить предел обнаружения, устранить или значительно уменьшить влияние макрокомпонентов, что повышает точность и правильность анализа (Луцко и др., 2020).

В данной работе был использован синтезированный в ЦХЛ ИГЕМ РАН класс ПКС на основе полистирола с *o*-, *o'*-дигидроксиазофункциональной комплексообразующей группировкой и заместителями различной электронной природы:



где *X* и *Y* заместители - *H*, *SO*₃*H*, *NO*₂, *Cl*, *COOH*

Предлагаемые сорбенты представляют собой сферические гранулы коричневого цвета, нерастворимые в воде, кислотах, щелочах и органических растворителях. Перед использованием гранулы сорбента растирают в агатовой ступке и просеивают через сито с порами 200 меш (0,074 мм) (Basargin и др., 2006).

Кислотность растворов измеряли на рН-метре Ионмер И-500 с погрешностью измерения ± 0,05. Контроль концентрации цинка в растворах осуществляли методом инверсионной вольтамперометрии на приборе Экотест-ВА. Предпочтение было отдано именно этому методу, так как это один из наиболее универсальных методов определения, обладающий достаточно высокой чувствительностью и экспрессностью.

На рис. 10.4.1 показано влияние кислотности среды на сорбцию ионов цинка монозамещенными сорбентами, а на рис. 10.4.2 – дизамещенными.

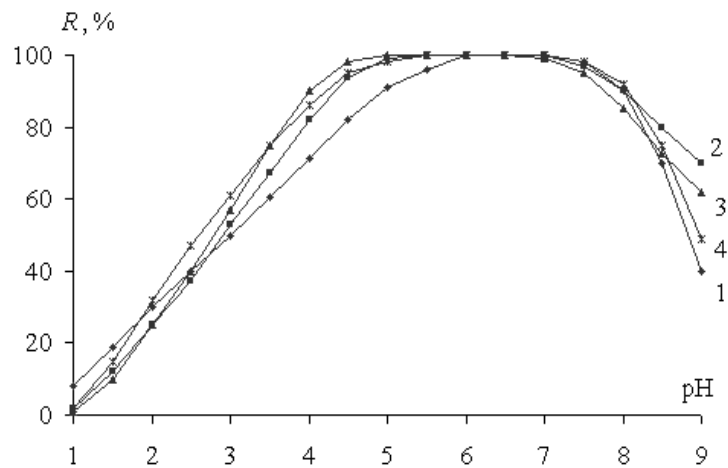


Рисунок 10.4.1 – Влияние кислотности среды на процесс сорбции ионов цинка монозамещенными сорбентами (№№ 1 – 4)

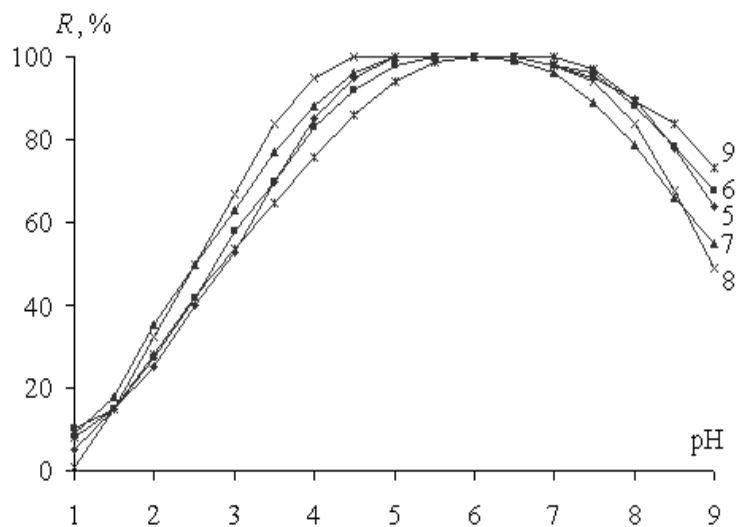


Рисунок 10.4.2 – Влияние кислотности среды на процесс сорбции ионов цинка дизамещенными сорбентами (№№ 5–9)

Условия сорбции (время, температура, $pH_{opt.}$, pH_{50}) исследовали по описанной методике (Basargin и др., 2007). Опыты по изучению оптимальных условий сорбции проводили в растворах объемом 25 мл, содержащих 25 мкг цинка и 25 мг сорбента.

Величины pH_{50} сорбции определяли графически из зависимости R (%) – pH , где R – степень извлечения элемента. Величину сорбционной емкости сорбента (СЕС) по исследуемому катиону определяли как количество мг элемента, сорбированное 1 г сорбента. Кроме того, были определены такие параметры, как: коэффициент распределения (D) ионов элементов в системе «раствор – сорбент», коэффициент концентрирования (K); кислотно-

основные свойства ФКГ сорбента (pK_a); устойчивость образующихся полихелатов ($lg \beta$).

Коэффициенты распределения D для каждой сорбционной системы вычисляли из экспериментальных данных. Константы устойчивости ($lg \beta$) определяли потенциометрическим методом. Число протонов (n), вытесняемых при сорбции элементов из ФАГ сорбентов, определяли по тангенсу угла наклона прямой, построенной в координатах « $pH - lg [R/(100-R)]$ ».

Избирательность действия комплексообразующих сорбентов определяли по экспериментальным данным о кратных по массе количествах сопутствующих элементов, не мешающих количественной (98-100%) сорбции изучаемого элемента.

Все исследуемые сорбенты количественно ($R = 100\%$) сорбируют цинк при комнатной ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) температуре и перемешивании на магнитной мешалке в течение 20-40 минут. Повышение температуры до 60°C сокращает время сорбции незначительно – на 5-10 минут (рис.10.4.3) – и влечет разрушение хелатов.

Сорбционная емкость сорбента по отношению к иону цинка (SEC_{Zn}) определяется из изотермы сорбции для исследуемой системы «сорбент – элемент» (Луцко и др., 2021). Величины сорбционной емкости сорбента находятся в диапазоне 12,74-21,53 мг Zn / г сорбента (табл.10.4.1).

Исследована возможность и определены условия десорбции элемента после концентрирования на предлагаемом сорбенте (Луцко и др., 2017). Количественно десорбировать ионы цинка с сорбента позволяет промывка концентрата-сорбата на фильтре 5 мл 3 М HNO_3 или 10 мл 3 М HCl . Установлено, что возможно многократное (10-15 циклов хемосорбции) использование регенерированного сорбента для процессов концентрирования; сорбционная емкость сорбента при этом не изменяется.

Физико-химические и аналитические характеристики сорбентов и процесса хемосорбции цинка ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $\mu = 1$, $R = 98-100\%$)

Сорбент	$\text{pH}_{\text{опт}}$	pH_{50}	СЕС_{Zn} , мг/г	τ , мин	$D \cdot 10^{-3}$, мл/г	$\lg \beta$
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидроксибензол	5,7 – 7,5	3,0	12,74	40	51	8,2
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-5'-хлорбензол	4,8 – 7,4	2,9	15,14	20	40	8,0
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-5'-сульфобензол	4,4 – 7,2	2,7	15,95	30	63	7,3
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-5'-нитробензол	4,8 – 7,4	2,6	17,42	25	33	6,9
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-3'-сульфо-5'-хлорбензол	4,7 – 6,9	2,8	16,96	30	39	7,5
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-3',5'-дисульфобензол	5,0 – 7,2	2,7	18,24	35	52	7,3
Полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-3'-сульфо-5'-нитробензол	4,4 – 6,8	2,5	20,58	20	60	6,8
Полистирол-2-окси-<1-азо-1'>-2'-окси-3',5'-динитробензол	4,2 – 7,1	2,5	21,53	25	41	6,6
Полистирол-2-окси-<1-азо-1'>-2'-окси-3'-карбокси-5'-сульфобензол	5,3 – 7,4	2,9	13,85	35	46	8,1

Изучение влияния посторонних ионов на сорбцию цинка показало, что наиболее избирательным сорбентом является сорбент № 8 (полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-3',5'-динитробензол), обеспечивающий количественное извлечение исследуемого иона в присутствии $n \cdot 10^5$ – кратных массовых количеств Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- ; $n \cdot 10^4$ – кратных массовых количеств Ba^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} ; $n \cdot 10^3$ – кратных массовых количеств Fe^{3+} , Cl^- ; $n \cdot 10^2$ – кратных массовых количеств Cu^{2+} , Cd^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , $n \cdot 10$ – кратных массовых количеств Co^{2+} , Ni^{2+} .

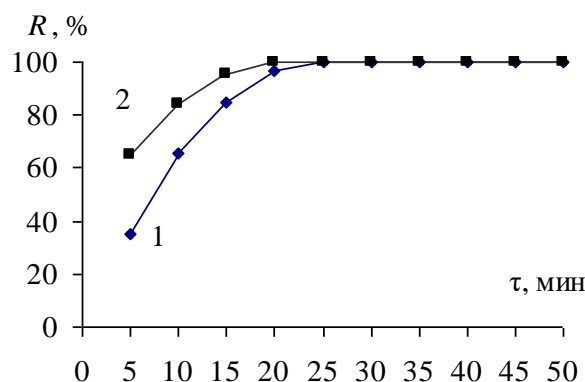


Рисунок 10.3.3 – Влияние времени перемешивания на процесс сорбции цинка сорбентом полистирол-2-гидрокси-(1-азо-1')-2'-гидрокси-3',5'-динитробензол (№ 8) при 20°C (1) и 60°C (2)

Исследована возможность повышения избирательности сорбции с помощью маскирования матричных элементов (Сенчакова и др., 2016). Подбор маскирующих агентов проводился с учетом повышения избирательности на фоне больших количеств железа, алюминия, кальция и магния. Установлено, что введение в раствор дигидрофосфата натрия и сульфосалициловой кислоты позволяет определить микроколичества цинка на фоне растворов, содержащих более 1000 мг кальция, магния, железа и алюминия в 1 л раствора.

Полученные данные были использованы для разработки новой методики концентрирования и последующего инверсионно-вольтамперометрического определения ионов цинка в природных, питьевых и сточных водах.

10.5. ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕДЬКИ ПОСЕВНОЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НА РАСТЕНИЯХ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ

Здоровье людей напрямую зависит от качества употребляемой пищи. Поскольку растительная продукция, в том числе овощи, является

неотъемлемой составляющей пищевого рациона человека, большое внимание исследователей уделяется не только получению высоких урожаев, но и его минеральной полноценности, то есть содержанию в продуктовой части как макро-, так и микроэлементов.

По данным разных авторов содержание микроэлементов в растениях колеблется от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ % (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Порохевич, 1975; Шеуджен, 2003). Содержание макроэлементов и разнообразие микроэлементного состава культурных растений обусловлено не только видовыми и сортовыми особенностями самих растений, но также содержанием подвижных, то есть доступных для растений форм элементов в пахотных почвах, которое, в свою очередь, зависит от подстилающих пород (Протасова, 2005; Vorisov и др., 2021; Zhevnerov и др., 2021). Кроме того, существенную роль в формировании урожая играют агротехника возделывания культуры и применение микроэлементных подкормок (Елисеев и др., 2010; Елисеев, Елисеева, 2016; Елисеева, Елисеев, 2012).

Микроэлементы в растениях играют значительную роль, которая связана с их участием в различных биохимических и физиологических процессах. От содержания микроэлементов зависит деятельность витаминов, гормонов, ферментов. Они оказывают влияние на синтез органических веществ, что в конечном итоге сказывается на продуктивности сельскохозяйственных культур и качестве получаемой продукции (Агеев, 1996; Елисеева и др., 2017; Елисеева, Елисеев, 2019). У каждого микроэлемента своя специфическая роль, однако, в то же время они могут выполнять и сходные с точки зрения биохимии функции (Порохевич, 1975; Ринькис, 1979; Риш, 1987; Ягодин, 1961).

Одним из микроэлементов содержанию, которого в растениях уделяют большое внимание, является селен (Александровская и др., 2020; Вихрева и др., 2011; Елисеева, 2007; Елисеева, Елисеев, 2019; Серегина, Макарская, 2021). Данный элемент в организме человека участвует в различных биохимических процессах и очень важен для его нормальной

жизнедеятельности. Однако в дозах, превышающих 200 мкг в сутки, он является токсичным (Барабой, Шестакова, 2004; Гмошинский и др., 2000; Дерябина и др., 2006; Тутельян и др., 2002). Следует иметь в виду, что при недостатке селена в организме человека развиваются патологии, причём у мужчин при потреблении селена менее 21 мкг в сутки, а у женщин – менее 16 мкг в сутки. В целом дефицит селена у взрослого человека отмечается при снижении его концентрации в плазме крови менее 60 мкг/л (Решетник, Парфенова, 2000). Соединения селена являются антиоксидантами и защищают клетки человеческого организма от пагубного влияния свободных радикалов (Гмошинский и др., 2000; Торшин и др., 1996). Благодаря участию этого микроэлемента в различных физиологических процессах наблюдается значительное увеличение срока активной жизнедеятельности клеток, укрепление иммунитета, так как селен способствует образованию белковых молекул, обладающих защитными свойствами. Достаточная обеспеченность данным микроэлементом снижает вероятность возникновения сердечнососудистых заболеваний. Кроме того, селен участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, а также оказывает влияние на стабильность работы нервной системы, на остроту зрения и концентрацию внимания. Важная роль селена заключается в процессе созревания мужских половых клеток, в работе щитовидной и поджелудочной желез (Барабой, Шестакова, 2004; Дерябина и др., 2006).

Биохимия и физиология селена и серы имеют много общего. Разными исследователями установлено, что сера может замещаться селеном в таких аминокислотах, как метионин и цистеин, а также в ферментах ферредоксин и галактозидаза, что в большинстве своём растения синтезируют селенцистеин, селенметионин, селенметионинселеноксид и др. (Авцын и др., 1991; Гмошинский, Мазо, 2006; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Кроме того, в работе Bollard E.G. (1983) показано, что селен принимает участие в образовании хлорофилла, в реакциях синтеза трикарбоновых кислот, в процессе метаболизма жирных кислот, причём селенпроизводных аналогов

сульфолипидов обнаружено не было. В книге Авцына А.П. и др. (1991) приводятся данные о присутствии селена в качестве кофактора вместе с железом и молибденом в некоторых окислительно-восстановительных ферментах.

Важным источником микроэлементов и, в частности, селена являются овощные культуры, которые в опытах Торшина С.П. и др. (1995) показали большие потенциальные возможности в накоплении данного микроэлемента. Кроме того, в другой работе Торшина С.П. (1998) показано, что в условиях вегетационного опыта внесение биселенита натрия в почву в дозах 25-2500 мкг Se/кг позволяло получить обогащение селеном овощных культур на 5-1600%. В работе другого исследователя приведены данные, что при выращивании редиса без внесения селена в его корнеплодах в зависимости от гранулометрического состава почвы этого элемента накапливается 56-187 мкг/кг сухой массы, а в листьях салата на тяжёлых почвах 72 мкг/кг. При этом среднее содержание Se в овощных культурах колеблется от 6 до 23 мкг/кг сырой массы (Елисеева, Елисеев, 2007). В этих же пределах оценивается безопасное для животных и человека содержание селена в растениях, причём накопление селена в надземных частях растений выше, чем в корнях (Торшин и др., 1995).

В наших исследованиях, проведённых на базе УНПЦ ООС имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, изучалось влияние некорневой обработки (НО) вегетирующих растений редьки раствором селенита натрия на показатели качества готовой продукции. Объектом исследования был сорт редьки посевной (*Raphanus sativus*) сорта Зимняя круглая чёрная. Посев проводили 22 июля по схеме 50+20×25 см. Площадь учётной делянки 2 м². Площадь питания 1 растения составила 875 см², густота стояния растений 11,5 раст./м². Раствор селенита натрия (Na₂SeO₃) применяли в четырёх концентрациях 0,0005%, 0,001%, 0,002% и 0,003% по Se. Опыт проводили в 3-кратной повторности по следующей схеме: NPK (фон) – контрольный вариант; NPK + НО Se 0,0005%; NPK + НО Se 0,001%;

NPK + HO Se 0,002%; NPK + HO Se 0,003%. В качестве фонового макроудобрения при посеве в почву вносили нитроаммофоску из расчёта 30 г/м². Обработку раствором селенита натрия проводили путём опрыскивания вегетирующих растений в фазу массовой линьки корня. В фоновых вариантах растения обрабатывали дистиллированной водой. Уборку урожая и оценку его качества проводили в фазе технической спелости (2 октября). Период вегетации составил 70 дней. Отбор растений на анализы осуществляли по общепринятым методикам.

В таблице 10.4.1 приведены данные по агрохимическому анализу дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, на которой выращивали редьку.

Таблица 10.4.1

Агрохимическая характеристика почвы

Гумус, %	pH _{KCl}	N, мг- экв/100 г почвы	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	V, %	Se, мкг/кг сухой массы
2,7	6,3	0,89	84	271	194	93,7	212,97

Почва, на которой выращивалась редька, достаточно окультурена, имеет высокую обеспеченность подвижными формами фосфора и калия, а также среднюю обеспеченность азотом, слабокислую реакцию среды, характеризуется невысоким содержанием гумуса, что характерно для почв Центрального Нечерноземья.

Были изучены такие показатели качества продукции как содержание сухого вещества, сухих растворимых веществ, аскорбиновой кислоты, накопление нитратов и микроэлемента селена в корнеплодах.

Данные, представленные в таблице 10.4.2, показывают, что некорневая обработка вегетирующих растений раствором селенита натрия в изучаемых концентрациях не оказывала существенного влияния на накопление сухого вещества в корнеплодах редьки. Однако наблюдалась тенденция к росту этого показателя в вариантах с обработкой растений по сравнению с фоном

на 38-53%. При этом наибольшим этот показатель был в вариантах NPK+HO Se 0,0005% и NPK+HO Se 0,001% и составил 14,1%.

Таблица 10.4.2

Химический состав продукции

Сорт	Вариант опыта	Содержание сухого вещества, %	Содержание сухих растворимых веществ, %	Содержание аскорбиновой кислоты, мг/100 г	Содержание нитратов, мг/кг	Содержание Se, мкг/кг сухой массы
Зимняя круглая чёрная	NPK (фон)	9,2	7,0	40,04	778,6	209,05
	NPK+HO Se 0,0005%	14,1	7,1	26,66	483,7	240,59
	NPK+HO Se 0,001%	14,1	7,5	31,08	494,8	249,40
	NPK+HO Se 0,002%	12,7	7,4	25,08	423,3	243,75
	NPK+HO Se 0,005%	13,5	8,5	30,01	241,9	250,24
НСР _{0,05}		1,6	0,7	6,6	57,8	10,32

Различия в накоплении сухих растворимых веществ по вариантам опыта в сравнении с фоновым вариантом были незначительными, но отмечалась тенденция к увеличению этого показателя в корнеплодах редьки по сравнению с контролем на 5-20% в зависимости от концентрации селена в растворе. Так, содержание сухих растворимых веществ в варианте NPK+HO Se 0,0005% составило 7,1%. Увеличение дозы селена до 0,005% приводило к возрастанию содержания сухих растворимых веществ до 8,5%.

Применение некорневой обработки вегетирующих растений редьки раствором селенита натрия способствовало значительному снижению содержания аскорбиновой кислоты в корнеплодах, причём существенное уменьшение данного показателя наблюдалось только в сравнении с контрольным вариантом (фон). Так, в вариантах опыта NPK+HO Se 0,0005% и NPK+HO Se 0,002% этот показатель снижался по сравнению с фоном, соответственно, в 1,5 и в 1,6 раз и составил 26,66 мг/100 г и 25,08 мг/100 г. В вариантах NPK+HO Se 0,001% и NPK+HO Se 0,005% концентрация

аскорбиновой кислоты была на уровне 31,08 и 30,01 мг/100 г, соответственно, что ниже контрольного значения этого показателя в 1,3 раза. По вариантам опыта с обработкой растений селенитом натрия существенных различий в содержаний аскорбиновой кислоты в корнеплодах не выявлено.

Некорневая обработка растений редьки также приводила к значительному снижению содержания нитратов во всех вариантах опыта. При этом с увеличением концентрации Se в растворе наблюдалось уменьшение содержания нитратов в корнеплодах. В вариантах опыта NPK+НО Se 0,0005% и NPK+НО Se 0,001% содержания нитратов составило 483,7 и 494,8 мг/кг сырой массы, соответственно, что в 1,6 раз меньше, чем в фоновом варианте. При дальнейшем увеличении концентрации селена в растворе (вариант NPK+НО Se 0,002%) отмечено уменьшение содержания нитратов в корнеплодах до 423,3 мг/кг сырой массы. С увеличением дозы селена в варианте NPK+НО Se 0,005% этот показатель снизился в 3,2 раза по сравнению с фоном и составил 241,9 мг/кг сырой массы. Следует отметить, что увеличение концентрации селена в растворе привело также к существенному снижению содержания нитратов в вариантах опыта NPK+НО Se 0,002% и NPK+НО Se 0,005% по сравнению с вариантами NPK+НО Se 0,0005% и NPK+НО Se 0,001% на 12-14% и 50%, соответственно.

Применение селена в качестве некорневой подкормки растений редьки приводило к увеличению содержания этого микроэлемента в корнеплодах по сравнению с фоновым вариантом. Содержание селена в продуктовой части растений было в среднем в 1,2 раза выше, чем в контрольном варианте и лежало в пределах 240,40-250,24 мкг/кг сухой массы. Различия по содержанию данного микроэлемента в вариантах опыта с обработкой растений раствором селенита натрия были несущественными.

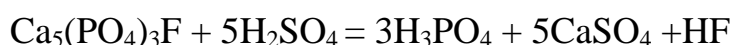
Таким образом, применение селенсодержащей подкормки посредством некорневой обработки вегетирующих растений приводило к увеличению концентрации селена и снижению содержания аскорбиновой кислоты в продуктовой части растений редьки, а также к снижению содержания

нитратов в корнеплодах, которое находилось в обратной зависимости от концентрации селена в рабочем растворе.

10.6. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЕЕ ОСНОВЕ

Как известно, фосфор относится к невосполнимым компонентам питания растений, поэтому для выращивания многих сельскохозяйственных культур, прежде всего для повышения их урожайности, широко используют различные фосфорные удобрения, потребность в которых постоянно растет. Фосфорные удобрения представляют собой минеральные вещества, как правило, кальциевые или аммонийные соли фосфорной кислоты. Эти вещества содержат фосфор в доступной для растений форме и обеспечивают растения этим элементом питания.

С развитием производства жидких многокомпонентных удобрений (ЖМУ), кормовых и пищевых фосфатов-детергентов возрастают требования к качеству фосфорной кислоты как к исходному сырью для их производства. Традиционное использование для этих целей термической фосфорной кислоты (ТФК) осложнено высокими затратами электроэнергии на её производство. В связи с этим основным источником очищенной фосфорной кислоты (ОФК) и чистых фосфатов в настоящее время следует рассматривать экстракционную фосфорную кислоту, получаемую из природных минералов (фосфоритов, апатитов) путём их разложения минеральными кислотами (например, серной кислотой).



Получаемая ЭФК загрязнена, с одной стороны, твёрдыми тонкодисперсными веществами (сульфат кальция, коллоидно-рассеянные

вещества органического происхождения), с другой стороны – растворёнными катионовыми и анионовыми примесями (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , SiF_6^{2-} , F^- и другие), не позволяющими использовать её для кормовых и пищевых целей (Багнавец, Чащина, 2010).

Одним из направлений, дающих возможность перерабатывать экстракционную фосфорную кислоту не только в чистые ЖМУ, но и в кормовые (для скота) и пищевые фосфаты, является очистка ЭФК от примесей с помощью органических растворителей – экстрагентов.

Одним из промышленных экстрагентов является трибутилфосфат (ТБФ), представляющий собой с химической точки зрения сложный эфир бутанола и фосфорной кислоты. ТБФ представляет собой бесцветную жидкость, плохо растворимую в воде (0,39 г/1 л воды при 19 °С), но хорошо растворимую в органических растворителях. ТБФ устойчив к гидролизу, к действию кислот, оснований, окислителей и восстановителей. Он является доступным и недорогим экстрагентом.

Сущность метода экстракционной очистки органическими растворителями заключается в следующем: ЭФК приводят при перемешивании в тесный контакт с экстрагентом (100%-ным ТБФ), который, как было сказано ранее, практически не растворим в воде. В органическую фазу экстрагируется большая часть фосфорной кислоты и незначительное количество примесей. Затем эмульсию разделяют. Водная фаза, которая получается после разделения органической и водной фаз, называется рафинат. Она содержит некоторое количество фосфорной кислоты и большую часть примесей. Рафинат часто используют для производства удобрений. Но качество получаемых удобрений не соответствует нормам экологической безопасности. В органическую фазу, экстракт, переходит большая часть фосфорной кислоты и незначительное количество разнообразных по химической природе примесей. Затем проводят процесс реэкстракции, приводя экстракт в контакт с водой или водными растворами других неорганических веществ. В результате реэкстракции получают ФК,

которая отличается значительно большей степенью чистоты, чем исходная ЭФК. Эта кислота может быть использована для синтеза фосфорных удобрений, а также для получения фосфатов пищевого качества.

Целью нашей работы являлась разработка экономически целесообразного технологического процесса получения ОФК технической и пищевой квалификации. В качестве экстрагента использовали 100%-й трибутилфосфат. Для аппаратного обеспечения были выбраны высокоэффективные центробежные экстракторы «ЦЕНТРЭК», обладающие рядом достоинств по сравнению с экстракционными колоннами и смесителями-отстойниками. Для создания технологической установки по очистке ЭФК от примесей были проведены исследования физико-химических, гидродинамических и кинетических особенностей экстракционных процессов очистки фосфорной кислоты (Багнавец и др., 2003). В результате было предложено: использовать для получения ФК пищевого качества многоступенчатый противоточный каскад на основе центробежных экстракторов, включающий в себя помимо стадии экстракции и реэкстракции операцию промывки экстракта с целью глубокой очистки от примесей (Багнавец и др., 2005). При создании технологической схемы мы ориентировались на вариант неполного извлечения целевого компонента и возможного использования двух продуктов: рафината и реэкстракта, рис.10.6.1.

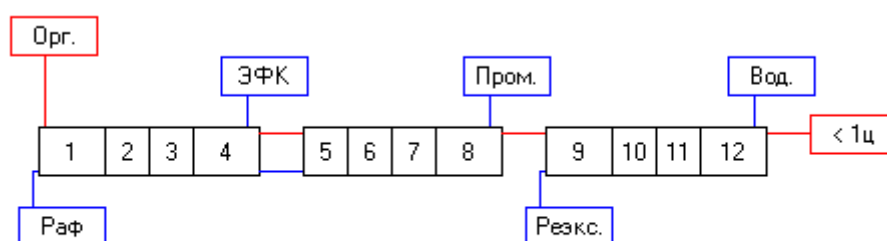


Рисунок 10.6.1 – Экстракционный каскад для очистки ЭФК

Конечным продуктом экстракционного каскада является реэкстракт с концентрацией фосфорной кислоты $40 \div 45\%$, соответствующий по содержанию основных примесей очищенной кислоте пищевого качества. После упаривания реэкстракта можно получить ОФК пищевой квалификации, отвечающую требованиям ГОСТ 10678 –76.

Следует отметить, что очистка от катионных примесей (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др.) не вызывает особых трудностей, поскольку катионы остаются в водной фазе, рафинате. Более проблематичной является очистка от анионных примесей, главными из которых являются сульфаты и фториды (Bagnavets и др., 2021).

Главным способом очистки от плавиковой кислоты (ПК) является повышение концентрации фосфорной кислоты (ФК) в экстракте. Наличие определенной концентрации ФК в экстракте препятствует переходу ПК в органическую фазу (Багнавец и др., 2002). Кроме того, удаление ПК происходит в процессе упаривания раствора очищенной фосфорной кислоты (Багнавец и др., 2003).

Нами была изучена возможность использования силикагеля для очистки фосфорной кислоты от фтороводородной (плавиковой) кислоты.

Силикагели – это аморфные формы оксида кремния(IV), содержащие 85–95 % SiO_2 . Силикагель обладает высокой адсорбционной способностью, для него характерна избирательность адсорбционного действия. Положительным технологичным свойством силикагеля является его способность подвергаться многократной регенерации без потери адсорбционных свойств.

При взаимодействии с полярными молекулами, к которым можно, безусловно, отнести молекулы HF, между молекулами адсорбента и адсорбата действуют дисперсионные силы, а также силы электростатического притяжения и взаимной поляризации молекул.

Можно предположить, что фтороводород, способный к образованию водородных связей, может быть адсорбирован в большей степени, чем другие

примеси. Кроме того, известно о сродстве кремния к фтору. Между SiO_2 и HF возможно химическое взаимодействие. Все эти факторы обусловили выбор силикагеля в качестве сорбента для очистки фосфорной кислоты от примесной плавиковой кислоты. Для нас было принципиально понять, будет ли протекать процесс адсорбции плавиковой кислоты из смеси с фосфорной кислотой и насколько эффективным он будет.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что силикагель может быть использован для очистки фосфорной кислоты от фторидов. При подборе определенных параметров: величины пор сорбента, температуры, соотношения концентраций фосфорной и плавиковой кислот можно достичь достаточно высоких показателей сорбции примесных фторидов из растворов очищенной фосфорной кислоты (Багнавец, 2021).

Следующим этапом был синтез фосфорного удобрения магний-аммонийфосфата на основе очищенной экстракционным способом фосфорной кислоты и на основе химически чистой фосфорной кислоты. Синтезированные удобрения использовали при проведении вегетационного опыта по выращиванию культуры томатов. В ходе опыта было проведено сравнение урожайности культуры томата при использовании магний-аммонийфосфата, синтезированного на базе кислоты, очищенной экстракционным способом, и химически чистой ФК, исследована возможная токсичность органического растворителя, следы которого оставались в фосфорной кислоте, полученной экстракционным способом.

Вегетационный опыт носил поисковый характер и ставил своей задачей изучить сравнительное действие эквивалентных доз питательных веществ минеральных солей, полученных из фосфорной кислоты разной степени очистки (Bagnavets и др., 2021).

Результаты вегетационного опыта представлены в таблице 10.6.1.

Данные таблицы 10.6.1 свидетельствуют о том, что полученное с использованием очищенной 100%-ным трибутилфосфатом удобрение магний-аммоний фосфат (вариант 1) не уступало по действию удобрению,

полученному с использованием химически чистой фосфорной кислоты (вариант 2).

Таблица 10.6.1

Сравнительное действие растворимых капсулированных удобрений с ограниченной растворимостью на урожай плодов томата

Содержимое варианта	Урожай плодов томата по повторностям в кг на одно растение					S	В среднем на растение
	1	2	3	4	5		
CaHPO ₄ +MgNH ₄ PO ₄ (на основе очищенной ФК) НКMg с микроэлементами в корневые подкормки	2,86	2,78	2,98	2,92	2,77	14,26	2,85
CaHPO ₄ + MgNH ₄ PO ₄ (на основе химически чистой) НКMg с микроэлементами в корневые подкормки	2,93	2,85	2,79	2,91	2,87	14,35	2,87

Средняя урожайность томата по вариантам отличается не значительно. Она колеблется от 2,77 до 2,98 кг с одного растения в варианте №1 и от 2,79 до 2,93 в варианте №2. Известно, что растения томата поглощают сравнительно небольшое количество фосфора, однако чувствительны к его недостатку в почве. Томат слабо усваивает фосфор из труднорастворимых соединений, что и определяет повышенные требования к обеспеченности почвы легкоусвояемыми формами фосфора. В нашем случае наличие хорошо растворимого магний-аммонийфосфата в смеси удобрений в обоих вариантах оказало стимулирующее воздействие на развитие томатов. Из множества овощных культур томат наиболее отзывчив на содержание легко усвояемых фосфатов в почве. Достаточное количество фосфора обеспечивает высокие прибавки урожая, ускоряет созревание и улучшает качество плодов томата. Подобная тенденция характерна для всех регионов, с различными почвенными показателями.

Полученные результаты говорят об отсутствии подавляющего действия на рост растений томата растворенного экстрагента – трибутилфосфата, который в незначительном количестве все же остается в реэкстракте в процессе получения очищенной фосфорной кислоты. Следует отметить, что на протяжении вегетативного опыта в почве была слабокислотная среда (рН $\approx 5,5 \dots 6$), что, безусловно, способствовало гидролизу трибутилфосфата до нетоксичных продуктов. Также очевидно, что была достигнута достаточная степень очистки кислоты и от остальных катионных и анионных примесей в ЭФК при использовании в качестве экстрагента 100%-ного ТБФ.

Многозадачность проведенного нами исследования позволила на разных его этапах привлекать учащихся РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для выполнения практических заданий. Подобная практика способствует повышению интереса учащихся к процессу обучения и мотивирует к получению навыков, необходимых для их дальнейшей профессиональной деятельности.

10.7. РАЗВИТИЕ ИДЕЙ АКАДЕМИКА Н.Я. ДЕМЬЯНОВА

С середины 20-х годов XX века лаборатория органической химии ТСХА под руководством Н.Я. Демьянова активно включается в работу по содействию скорейшей рациональной постановке в России производства и переработки сельскохозяйственной продукции. При лаборатории организуется группа по разработке методов переработки и анализа продукции растительного сырья (с обучением студентов и аспирантов). В частности, ведутся активные работы по анализу жиров, восков, лекарственных растений, эфирных масел и т.д.

В тот период, в состав первого Госплана СССР входили крупнейшие специалисты по важнейшим отраслям хозяйства, науки и техники: И.Г. Александров, В.Р. Вильямс, И.М. Губкин, Д.И. Прянишников,

С.Г. Струмилин и др. Наряду с организацией под руководством Н.И. Вавилова зональных опытных станций полеводства при активном участии академика Н.Я. Демьянова по всей стране создаются станции и лаборатории по изучению эфирных масел. Строятся заводы по их переработке. В Государственном Никитском опытном ботаническом саду (ГНОбС) Василий Васильевич Вильямс, совместно с сотрудниками ботанического сада, организуют первую станцию лекарственных и эфиромасличных растений, где разрабатывают лабораторные и промышленные методы выделения эфирных масел. Изучают и вводят в культуру новые эфирносы (шалфей, лаванда и т.д.). Итогом совместных работ стало создание советской эфиромасличной промышленности (Князев, Пржевальский, 2004).

Н.Я. Демьянов был одним из инициаторов и организаторов создания в 1931 году Всесоюзного института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), где до сих пор ведутся фундаментальные работы по изучению новых эфирноносных и лекарственных растений, их интродукции, биологии.

В этот период, в лаборатории Тимирязевской академии ведутся работы по изучению состава эфирных масел и свойств их отдельных компонентов. Это была весьма трудоёмкая работа. Компоненты эфирных масел выделялись из масел с применением различных видов перегонки (перегонка с паром, фракционная перегонка, перегонка при пониженном давлении и т.д.). Строение соединений доказывалось химическим путём, встречным синтезом и т.д. Для выделения масел, определения их количественного содержания и состава разрабатывались и изготавливались оригинальные приборы.

В 1930 году в предисловии к первому на русском языке учебному пособию: "Эфирные масла их состав и анализ" академик Николай Яковлевич Демьянов и его ученики В.И. Нилов и В.В. Вильямс пишут: "... основным моментом в современном развитии народного хозяйства является индустриализация страны, создание собственной сырьевой базы и на её основе рационально поставленной механизированной промышленности. Отсюда следует полная реконструкция промышленности, а также

реконструкция сельского хозяйства на новых социалистических началах. Осуществление этой великой проблемы позволит нам стать в независимое положение, избавиться от ввоза иностранного сырья и фабрикатов и перейти далее к их вывозу..." и далее "...одним из серьёзнейших препятствий является недостаток и даже отсутствие сведущих в данной области специалистов..." (Демьянов и др., 1930). Это пособие базировалось на собственных результатах исследований в лабораториях МСХА и ГНОБС и на анализе иностранных публикаций.

Колоссальные достижения в области познания строения материи, физики, электроники и аналитического приборостроения в середине XX века позволили перейти на новый уровень в изучении состава эфирных масел (ЭМ) и строения их компонентов – метод газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) с масс-спектрометрией (МС).

Это в свою очередь позволило обобщить результаты, создавать библиотеки масс-спектров и индексов удерживания для большого числа соединений терпенового ряда и близких им соединений (Грандберг и др., 1980; Ключев и др., 1980). В 1984 г. в *Journal Chromatography* была опубликована статья, в которой мы сообщили о разработанной методике хроматографического разделения эфирных масел и, главное, показали, что на основании статистической обработки масс-спектральных данных возможна однозначная идентификация очень близких по строению (изомерных) соединений (Zamureenko и др., 1984).

На основе полученных результатов создана уникальная компьютерная база данных, позволяющая определять основные компоненты практически любого эфирного масла.

Вместе с тем параллельно кафедра химии продолжала вести совместные научно-исследовательские работы по интродукции, внедрению новых сортов, составу, динамике накопления масла, агротехники и других вопросов с задачей повышения качества, количества и разнообразия эфиромасличной продукции: на базе Сухумской опытной станции

эфиромасличных культур был изучен состав эфирного масла новых перспективных для Абхазии эфирносов (Грандберг и др., 1977; Дмитриев и др., 1977); проанализирован состав ЭМ нескольких сортов базиликов эвгенольного типа из Никитского ботанического сада (Замуреенко и др., 1986); с институтом НИИОХ были проведены исследования состава летучих компонентов различных сортов укропа (Грандберг и др., 1985); изучены масла эфирносовых культур интродукции и селекции из коллекции Главного ботанического сада РАН РФ (Бухарин и др., 1989; Воронина и др., 1990).

В наших работах также были опубликованы краткие обзоры по интродукции и составу ЭМ эфиромасличных растений, рекомендуемых для выращивания в Нечерноземной зоне России (Дмитриева, 2000; 2006; Дмитриева и др., 2004; Дмитриева, Дмитриев, 2003).

Совместно с ВИЛАР с 1987 г. ведутся исследования по разработке метода формирования максимальной продуктивности растений по содержанию и сбору эфирного масла с использованием целенаправленной экзогенной регуляции его накопления в онтогенезе. Экспериментально доказано, что накопление биологически активных веществ, в т.ч. и ЭМ, в сырье лекарственных и эфиромасличных растений зависит от интенсивности роста и накопления надземной биомассы в предуборочный период (Байбеков и др., 2020; Лукомец и др., 2016; Сушкова, 2015).

В рамках программы "Технология возделывания эфиромасличных культур с заданным и контролируемым составом целевого продукта (эфирного масла)" разработанным методом ГЖХ-МС проводился анализ ЭМ *Plectranthus amboensis* (Low.) субтропического происхождения (Дмитриева и др., 2010). Продолжаются работы в содружестве с Никитским ботаническим садом по изучению состава ЭМ различных типов *Lavandula vera*, *Perovskia atriplicifolia* Bench., *Ruta graveoles* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Thuja occidentalis*, *Mirtus communis* L. и др. (Белопухов и др., 2017).

В лаборатории кафедры ведутся работы и по анализу «жирных» масел (Байбеков и др., 2019; Дмитриев и др., 2015).

В настоящее время в мире сложился устойчивый рынок эфирных масел, общая тенденция которого – стабильно растущий спрос на эфиромасличную продукцию. Основной причиной роста рынка является повышение спроса на органическую и косметику, средства личной гигиены, медицинские препараты, пищевую продукцию, важным ингредиентом которых являются натуральные эфирные масла. Все это делает дальнейшее развитие работ по эфирным и жирным маслам на кафедре актуальным и по сей день.

10.8. К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ

Общемировой объем производства эфирных масел достигает 30 тыс. т. в год, свой вклад в него вносят более 300 видов культурных и дикорастущих эфирносов.

Наиболее экономически значимые эфирные масла, производство каждого из которых составляет свыше 1 тысячи тонн в год: мятное, апельсиновое, гвоздичное, цитронелловое, эвкалиптовое, кориандровое и лавандовое.

В мировом производстве основных натуральных масел цитрусовые эфирные масла (апельсиновое и лимонное) составляют около 40%. Это самые дешевые в производстве масла, что связано с тем, что они в настоящее время являются сопутствующими продуктами при производстве соков цитрусовых. Потребность же в цитрусовых маслах велика в связи с модой на свежие цитрусовые ароматы в парфюмерии, косметике, производстве жевательной резинки, ароматизаторов для напитков, в бытовой химии и производстве моющих средств (Лапко и др., 2019).

Мятное эфирное масло составляет до 13% в мировой структуре производства. Эфирное масло мяты перечной широко используется в пищевой промышленности, медицине, в производстве зубных паст и

жевательной резинки. Из высокоментольных видов мятных масел выделяют натуральный ментол, незаменимый при приготовлении ряда препаратов для лечения сердечно-сосудистых заболеваний (Сушкова, Дмитриев, 2019).

Мировые цены на эфирные масла складываются в зависимости от их качества, себестоимости производства, уровня удовлетворения потребности в эфирных маслах, конъюнктуры рынка и т.д.

Уровень развития эфиромасличной отрасли в той или иной стране можно оценить по качеству выпускаемой продукции и широкому ассортименту эфирных масел в производстве. В конце 20 века наиболее высоким уровнем развития эфиромасличной отрасли отличалась Европа. Франция производила свыше 60 наименований эфирных масел высокого качества. В Советском Союзе вырабатывалось 25 наименований этой продукции, далее следовали Италия, Испания, Болгария. В других странах ассортимент масел ограничивался не более чем десятью наименованиями, при ярко выраженной специализации одного-пяти видов. На сегодняшний момент наиболее крупным экспортером и импортером эфирных масел на мировом рынке является США (<https://aromatnauki.ru/articles/393475>).

Сдерживает развитие эфиромасличного производства и рост выпуска синтетических душистых веществ, которые в ряде случаев с успехом заменяют натуральные эфирные масла.

Традиционные центры эфиромасличного производства продолжают перемещаться в страны третьего мира, которые расположены в оптимальных для возделывания эфирносов природно-климатических условиях, располагают дешевой рабочей силой и относительно свободными земельными площадями. Постепенно одним из крупнейших производителей эфирных масел становится Китай.

Сегодня благодаря стремительному развитию науки и современных технологий значительно повысить урожайность любой культуры стало гораздо проще. С помощью минеральных удобрений и различных средств защиты мы можем помочь растениям справиться с любыми

неблагоприятными факторами и порадовать нас богатым урожаем (Байбеков и др., 2020; Лукомец и др., 2016; Сушкова и др., 2016). Кроме того, возможности аграриев и тех, кто профессионально подходит к вопросу выращивания растений, на этом не заканчиваются.

Благодаря группе таких препаратов как регуляторы роста мы получаем возможность контролировать процесс роста и развития растения (Сушкова, Литвинский, 2018). Как пример, можно стимулировать прирост зеленой массы или, наоборот, интенсивное развитие корневой системы и плодов, задержать рост или затормозить наступление цветения при неблагоприятных климатических условиях, ускорить образование плодов или семян и пр. (Сушкова и др., 2018; Сушкова, 2019).

Возможность ускорить процесс роста растений – это большое преимущество, которое обеспечивается специальными препаратами. Это низкомолекулярные органические вещества, природные фитогормоны или их искусственные аналоги, которые содержат сбалансированный комплекс биологически активных веществ и микроэлементов. Соответственно, регуляторы роста растений позволяют целенаправленно регулировать важнейшие процессы развития и эффективнее реализовать потенциальные возможности культуры (Дмитриева и др., 2020; Сушкова, 2019).

При сегодняшней нестабильной экономической ситуации весьма актуальным становится создание химических препаратов, которые, усиливая действие гербицидов на сорные растения, снижают затраты хозяйств на химическую прополку. Одновременно снижение гербицидной нагрузки за счет применения таких препаратов положительно влияет на урожайность защищаемых культур и экологию (Сушкова и др., 2016).

Однако, несмотря на то, что существует ряд примеров исключительно высокой экономической эффективности применения регуляторов роста растений, по объемам производства и использования они значительно уступают пестицидам. Не в последнюю очередь это связано с тем, что эффективность применения регуляторов роста зависит от эффективности

всех остальных агротехнических мероприятий, включая применение удобрений и пестицидов. Другой существенной трудностью является необходимость более точного, чем в случае пестицидов, соблюдения доз, сроков и технологии их внесения. Поэтому более широкое применение нашли регуляторы роста ингибирующего типа действия, в первую очередь ретарданты и дефолианты. Тем не менее, низкие нормы расхода регуляторов, возможность управлять с их помощью процессами роста и развития растений, изменять устойчивость растений к различным внешним факторам определяют их перспективность.

Развитие растений осуществляется по определенной генетической программе. Развертывание этой программы, в том числе старение и гибель организма, может в определенной мере контролироваться внешними условиями, через внутреннюю гормональную систему регуляции. Таким образом, развитие растений совершается при взаимодействии генетических потенций и факторов внешней среды (Сушкова, 2019; Sushkova и др., 2015).

На нашей кафедре мы проводили серию многолетних опытов по изучению действия различных рострегулирующих препаратов на эфиромасличные культуры (Дмитриева и др., 2014; Дмитриева и др., 2018; Сушкова и др., 2013; Сушкова, 2015).

Нельзя не отметить некоторые аспекты истории возникновения химии эфиромасличных культур и предпосылки изучения нами данного вопроса.

История кафедры химии Тимирязевской академии тесно связана с именем выдающегося русского и советского химика-органика, академика Николая Яковлевича Демьянова. Н.Я. Демьянов создал школу химиков-органиков, которая стала одной из крупных и сильных в нашей стране, отличалась широким профилем и связью с агрономией и биологией. Такая школа возникла благодаря разносторонним интересам и энциклопедическим знаниям Н.Я. Демьянова – с середины 20-х годов XX века Николай Яковлевич с многочисленными учениками развернул на кафедре систематическое изучение растительных и животных ресурсов нашей

страны. Начиная с 1925 г. он уделял большое внимание изучению эфирных масел растений и совместно с учениками – В.В. Вильямсом и В.И. Ниловым было выпущено руководство по химии и исследованию эфирных масел. Также был опубликован ряд работ по исследованию природы различных эфирных масел, выпущено руководство по агрохимии "Общие приемы анализа растительных веществ" (1932), "Химия растительных веществ" (1933) (Пржевальский, 2012).

Эти исследования имели большое теоретическое и практическое значение – совместные работы по отысканию отечественных эфирномасличных растений и по химии эфирных масел, проводившиеся на кафедре и в биохимической лаборатории Никитского ботанического сада, создали советскую эфирномасличную промышленность.

Эффективность эфиромасличного производства в целом преимущественно определяется технологией переработки, последней стадией производства эфирных масел. На сегодняшний день существует несколько технологий переработки эфиромасличного сырья и производства эфирных масел.

Эфирные масла извлекают из растительных материалов различными методами. Более эффективным способом переработки эфиромасличных растений является экстракционный. Его применение дает возможность получать высококачественные продукты с большим выходом масла за счет изъятия неулетучивающихся из водяного пара веществ.

Основной экономический эффект от использования экстракционной технологии зависит от существенного увеличения выхода дистилляционных и экстракционных эфирных масел при одновременном улучшении их качества, получения дополнительно ценных продуктов, которые сейчас выкидываются с отходами производства, и уменьшения количества оборудования для осуществления технологических операций.

Наряду с этим методом иногда используется динамическая адсорбция (поглощение ароматических веществ твердыми адсорбентами). Некоторое

растительное сырье (в основном плоды цитрусовых) подвергают прессованию. Выделившаяся при этом эмульсия эфирного масла подвергается центрифугированию.

Одними из относительно редко используемых методов получения эфирных масел являются традиционные, старинные парфюмерные технологии мацерация и анфлераж – как технологии они основаны на поглощении летучих ароматических веществ растений нелетучими растворителями – животным жиром или растительным маслом. В результате мацерации получается цветочная помада (на основе животного жира) или благовонное масло (на основе растительного масла) (Егорова, Решетникова, 2014).

Когда в растении достаточно большое количество эфирных масел, используется метод перегонки с водяным паром. Различают перегонку смеси сырья и воды (гидродистилляция) и непосредственное воздействие пара на сырье (паровая дистилляция). При паровой дистилляции и гидродистилляции получают дистилляционные эфирные масла.

При гидродистилляции иногда используют вакуум (отгонка с пониженным давлением). При паровой дистилляции воздействию перегретым паром подвергается непосредственно сам растительный материал. Пар подхватывает летучие компоненты эфирного масла, охлаждается и, попадая в приемник, в качестве которого используется обычно приемник Гинсберг, смесь воды с компонентами масла расслаивается (Ефремов, 2013).

Для некоторых ароматических растений, если перегонка с паром является нежелательным процессом, используют метод экстракции органическими растворителями (этиловый спирт или петролейный эфир), иногда для этой цели используют различные сжиженные газы (углекислый газ и фреоны).

Каждый способ извлечения эфирных масел требует оригинального аппаратного оборудования, которое повышает металло- и энергоемкость

производства, уменьшает фондоотдачу. Важно указать, что ни одна из технологий, которые ныне используются, несовершенна, как по причине химических преобразований ароматических комплексов в процессе обработки, так и за счет неполной экстракции эфирного масла.

В результате проведенных нами исследований предложена принципиально новая технология переработки эфиромасличного сырья, основанная на выделении дистилляционного масла модифицированным методом гидродистилляции по Гинсберг с использованием разработанной на кафедре насадки-приемника оригинальной конструкции.

Качественный и количественный состав компонентов масла определяется на газожидкостном хроматографе с масс-спектрометрическим детектором: 1 мкл полученного в результате перегонки эфирного масла мяты перечной растворяют в 1,5 см³ гексана (Сушкова, Белопухов, 2019). Реакционную смесь в специальном флаконе интенсивно перемешивают и переносят в соответствующую виалу газожидкостного хроматографа.

Хроматографические детекторы обеспечивают получение информации об анализируемых веществах, такой как время удерживания, амплитуда и площадь аналитических пиков. Пламенно-ионизационный детектор используется для количественного определения компонентов эфирного масла мяты перечной, а масс-спектрометрический – для установления качественного состава исследуемой пробы. Полученный по каждому из аналитических пиков масс-спектр обрабатывался поисковой системой «NIST» библиотеки масс-спектров.

Данный метод физико-химического анализа позволяет изучать изменение соотношения компонентов эфирных масел различных эфиромасличных культур, а знания биохимических процессов, протекающих в этих культурах, позволяет подобрать необходимое воздействие с помощью экзогенных факторов в интересах различных отраслей промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 'Green revolution' genes encode mutant gibberellin response modulators / J. Peng, D. E. Richards, N. M. Hartley [и др.] // *Nature*. – 1999. – Т. 400. – С. 256-261.
2. Abeledo L. G. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley / L. G. Abeledo, D. F. Calderini, G. A. Slafer // *Euphytica*. – 2003. – Т. 133. – С. 291-298.
3. Adsorption of zinc on polymeric chelating adsorbents in the analysis of natural water / N. N. Basargin, E. R. Oskotskaya, A. V. Chebrova, Y. G. Rozovskii // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2008. – Т. 63. – № 3. – С. 209-213.
4. Agrios G. Plant pathology / G. Agrios. – Fifth edition. – San Diego, London, Boston, NY, Toronto, Sydney, Tokyo : Academic press, 2006. – 922 с.
5. Alexandratos N. World agriculture towards 2030 / 2050: the 2012 revision : 03 / N. Alexandratos, J. Bruinsma. – FAO, 2012. – 153 с.
6. Amézketa E. Soil Aggregate Stability: A Review / E. Amézketa // *Journal of Sustainable Agriculture*. – 1999. – Т. 14. – № 2-3. – С. 83-151.
7. Application of a supported liquid membrane for the purification of wet-process phosphoric acid using centrifugal extractors / N. Bagnavets, S. Belopukhov, M. Ivanova [и др.] // *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 137-145.
8. Application of NIR spectroscopy for cellulose determination in flax / Y. Enakiev, E. A. Grishina, S. L. Belopukhov, I. I. Dmitrevskaya // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2018. – Т. 24. – С. 897-901.
9. Azad M. O. K. Effect of Artificial LED light and far infrared irradiation on phenolic compound, isoflavones and antioxidant capacity in soybean (*Glycine max* L.) Sprout / M. O. K. Azad, W. W. Kim, C. H. Park // *Foods*. – 2018. – Т. 7(10). – № 174. – С. 10.
10. Bacterial defenses against oxidative stress / G. Storz, L. A. Tataglia, S. B. Farr, B. N. Ames // *Trends. Genet*. – 1990. – № 6. – С. 363-368.

11. Basargin N. N. A physicochemical study of the sorption of lead: Correlations in a series of chelating polymer sorbents / N. N. Basargin, E. R. Oskotskaya, A. V. Chebrova // Russian Journal of Physical Chemistry. – 2006. – T. 80. – № 12. – C. 2016-2019.
12. Basargin N. N. Chelating tendencies in the rows of polymeric sorbents and their copper(II) and lead(II) complexes / N. N. Basargin, E. R. Oskotskaya, A. V. Chebrova // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2007. – T. 52. – № 9. – C. 1474-1477.
13. Belenkov A. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia / A. Belenkov, M. Mazirov, V. Arefieva // Eurasian Journal of Soil Science. – 2018. – T. 7(4). – C. 300-307.
14. Belolyubtsev A. I. Agri-environmental effectiveness of techniques to protect soil from erosion in the context of global climate change / A. I. Belolyubtsev // IZVESTIA of Timiryzev-academy. – 2009. – C. 9.
15. Beloshapkina O. O. Immunological assessmen to apple varieties interms of their scab resistance and its correlation with leaf and fruit microstructure / O. O. Beloshapkina, T. K. Kumachova, I. N. N. Wakhshekh // Izvestia of Timiryazev Agricultural Academy. – 2014. – № 4. – C. 52-62.
16. Beloshapkina O. O. Influence of chemicals and biological agents on the pear scab pathogen venturia pyrina / O. O. Beloshapkina, I. N. N. Wahsheh, A. S. Ryabchenko // Mikologiya I Fitopatologiya. – 2015. – № 49(1). – C. 49-55.
17. Benaouf G. Pathogenicity of Venturia inaequalis strains from Malus floribunda comparison with race 6 on apple clones / G. Benaouf, L. Parisi // Integrated control of pome fruit diseases, Bulletin OLLB srop. – 1998. – T. 20 (9). – C. 8-13.
18. Bharati A. J. In vitro production of flavonoids: a review / A. J. Bharati, Y. K. Bansal // World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. – 2014. – № 3(6). – C. 508-533.
19. Borisov B. A. Geographical features of the distribution and renewal of easily

- decomposable organic matter in virgin and arable zonal soils of European Russia / B. A. Borisov, N. F. Ganzhara // *Eurasian Soil Science*. – 2008. – Т. 41. – № 9. – С. 946-952.
20. Boroja T. Summer savory (*Satureja hortensis* L.) extract: Phytochemical profile and modulation of cisplatin-induced liver, renal and testicular toxicity / T. Boroja, G. Katanić, D. Rosić // *Food and Chemical Toxicology*. – 2018. – Т. 118. – С. 252-263.
21. Braziene Z. Spring wheat yield and productivity components as affected by nitrogen fertilization and weather conditions / Z. Braziene // *Lietuvos zemes ukio univ. Akademija*. – 2008. – Т. 94. – № 1. – С. 89-99.
22. Brinck E. Evaluation of amendments used to prevent sodification of irrigated fields / E. Brinck, C. Frost // *Applied Geochemistry*. – 2009. – Т. 24. – № 11. – С. 2113-2122.
23. Bros I. HPTLC quantification of some flavonoids in extracts of *Satureja hortensis* L. obtained by use of different techniques / I. Bros, M. L. Soran, R. D. Briciu // *Journal of Planar Chromatography-Modern TLC*. – 2009. – Т. 22(1). – С. 25-28.
24. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects / E. . Gregorich, K. . Greer, D. . Anderson, B. . Liang // *Soil and Tillage Research*. – 1998. – Т. 47. – № 3-4. – С. 291-302.
25. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe / A. Freibauer, M. D. . Rounsevell, P. Smith, J. Verhagen // *Geoderma*. – 2004. – Т. 122. – № 1. – С. 1-23.
26. Chemical composition of *Mentha piperita* L. Essential oil / L. O. Sushkova, T. N. Fomina, S. L. Belopukhov, L. B. Dmitriev // *Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная созданию объединенного аграрного ВУЗа в Москве*. – М : Российский государственный аграрный университет–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. – С. 120-122.
27. Chkhikvishvili I. Rosmarinic acid-rich extracts of summer savory (*Satureja hortensis* L.) protect Jurkat T cells against oxidative stress / I. Chkhikvishvili, T.

- Sanikidze, N. Gogia // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. – 2013. – № 456253. – C. 9.
28. Christensen B. T. The Ascov Long-Term experiments on animal and mineral fertilizers. T. 29 / B. T. Christensen, Trentemoller V. – SP-report, 1995. – 188 c.
29. Clifton-Brown J. History of the development of Miscanthus as a bioenergy crop: from small beginnings to potential realisation / J. Clifton-Brown, K.-U. Schwarz, A. Hastings // *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*. – 2015. – T. 115B. – C. 1-13.
30. Cockroft B. Degradation of soil structure due to coalescence of aggregates in no-till, no-traffic beds in irrigated crops / B. Cockroft, K. A. Olsson // *Soil Research*. – 2000. – T. 38. – № 1. – C. 61.
31. Cucci G. Irrigation with saline-sodic water: effects on two clay soils / G. Cucci, G. Lacolla // *Italian Journal of Agronomy*. – 2013. – T. 8. – № 2. – C. 13.
32. Davis-Knight H. R. The potential of triticale as a low input cereal for bioethanol production: The Home-Grown Cereals Authority Project Report № 434 / H. R. Davis-Knight, R. M. Weightman // Cambridge: ADAS UK Ltd, Centre for Sustainable Crop Management. – London, 2008. – C. 41.
33. Deng Y. Transcriptome sequencing and comparative analysis of *Saccharina japonica* (Laminariales, Phaeophyceae) under blue light induction / Y. Deng, J. Yao, X. Wang // *PLoS ONE*. – 2012. – T. 7(6). – № e39704. – C. 10.
34. Dias D. A. A historical overview of natural products in drug discovery / D. A. Dias, S. Urban // *Metabolites*. – 2012. – T. 2. – C. 303-336.
35. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice / Z. TAN, R. LAL, L. OWENS, R. IZAURRALDE // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – T. 92. – № 1-2. – C. 53-59.
36. Dmowska R. Statistical methods in the Atmospheric Sciences / R. Dmowska, D. Hartman, H. T. Rossby // *International Geophysical Series*. – 2011. – T. 1. – C. 668.
37. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands / R. B.

Jackson, J. L. Banner, E. G. Jobbágy [и др.] // *Nature*. – 2002. – Т. 418. – № 6898. – С. 623-626.

38. Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower / M. Farhadi Machekposhti, A. Shahnazari, M. Z. Ahmadi [и др.] // *Agricultural Water Management*. – 2017. – Т. 188. – С. 69-78.

39. Effect of wheat dwarfing genes on nitrogen-use efficiency / M. J. Goodling, M. Addisu, R. K. Uppal [и др.] // *Journal of Agricultural Sciences*. – 2012. – Т. 150. – С. 3-22.

40. Eibl R. Plant cell culture technology in the cosmetics and food industries: current state and future trends / R. Eibl, P. Meier, I. Stutz // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – Т. 102. – С. 8661-8675.

41. Electrophoresis and size-exclusion chromatography of humic substances extracted from detritus and soils of different geneses / O. E. Trubetskaya, O. A. Trubetskoi, B. A. Borisov, N. F. Ganzhara // *Eurasian Soil Science*. – 2008. – Т. 41. – № 2. – С. 171-175.

42. Ellert B. H. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes / B. H. Ellert, J. R. Bettany // *Canadian Journal of Soil Science*. – 1995. – Т. 75. – № 4. – С. 529-538.

43. Emdad M. Effect of different water qualities on soil physical properties / M. Emdad, M. Shahabifar, H. Fardad. – 2006.

44. Escribano J. Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris* L. roots / J. Escribano, M. A. Pedreno, F. Garcia-Carmona // *Phytochemical Analysis*. – 1998. – Т. 9. – С. 124-127.

45. Essington M. Soil and water chemistry: an integrative approach / M. Essington // *CRC Press*. – 2004.

46. Evaluation of Iranian native apple cultivars and genotypes / S. Damyar, D. Hassani, R. Dastjerdi, H. Hanjanajari // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. – 2007. – Т. 5 (3&4). – С. 211-215.

47. Exarchou V. Antioxidant activities and phenolic composition of extracts from Greek oregano, Greek sage, and Summer savory / V. Exarchou, N. Nenadis,

M. Tsimidou // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2002. – T. 50. – C. 5294-5299.

48. Extent of soil sodification as influenced by different irrigation water sources in a typical black soil of Karnataka A Case Study / S. Kirankumar, M. Nagaraja, R. Sumaand, A. Alur. – 2015. – T. 10. – C. 159-162.

49. Feng Q. L. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus / Q. L. Feng, J. Wu, G. Q. Chen // Journal of Biomedical Materials Research. – 2000. – T. 52. – C. 662-668.

50. Gam D. T. LED Lights Promote Growth and Flavonoid Accumulation of Anoectochilus roxburghii and Are Linked to the Enhanced Expression of Several Related Genes / D. T. Gam, P. H. Khoi, P. B. Ngoc // Plants. – 2020. – T. 9(10). – № 1344. – C. 15.

51. Gandia-Herrero F. Biological activities of plant pigments betalains / F. Gandia-Herrero, J. Escribano, F. Garcia-Carmona // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. – T. 56. – C. 937-945.

52. Gas-Liquid Chromatography-MASS Spectrometry in the Analysis of Essential Oils / V. A. Zamurenko, N. A. Kluyev, L. B. Dmitriev, I. I. Grandberg // J. Chromatography. – 1984. – T. 303. – № C. – C. 109-115.

53. Giri C. C. Chemical elicitors versus secondary metabolite production in vitro using plant cell, tissue and organ cultures: Recent trends and a sky eye view appraisal / C. C. Giri, M. Zaheer // Plant Cell Tissue Organ Culture. – 2016. – T. 126. – C. 1-18.

54. Grace J. Understanding and managing the global carbon cycle / J. Grace // Journal of Ecology. – 2004. – T. 92. – № 2. – C. 189-202.

55. Gubser G. Food ingredients and food made with plant cell and tissue cultures: State-of-the art and future trends / G. Gubser, S. Vollenweider, D. Eibl // Engineering in Life Sciences. – 2021. – T. 21. – C. 87-98.

56. Guidelines on climate metadata and homogenization. T. 1186. – 53. – Geneva : World Meteorological Organization (WMO), 2003.

57. Guo L. B. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis / L. B.

- Guo, R. M. Gifford // *Global Change Biology*. – 2002. – Т. 8. – № 4. – С. 345-360.
58. Gupta S. D. Fundamentals and applications of light-emitting diodes LEDs in in vitro plant growth and morphogenesis / S. D. Gupta, B. Jatothu // *Plant Biotechnology Reports*. – 2013. – Т. 7. – С. 211-220.
59. Haynes R. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand / R. Haynes // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2000. – Т. 32. – № 2. – С. 211-219.
60. Herrero J. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district / J. Herrero, O. Pérez-Coveta // *Geoderma*. – 2005. – Т. 125. – № 3-4. – С. 287-308.
61. Impact of irrigated agriculture on groundwater-recharge salinity: a major sustainability concern in semi-arid regions / S. Foster, A. Pulido-Bosch, Á. Vallejos [и др.] // *Hydrogeology Journal*. – 2018. – Т. 26. – № 8. – С. 2781-2791.
62. Impact of various cultivation technologies on productivity of potato (*Solanum tuberosum*) in central non-Cenozoic zone of Russia / A. Belenkov, A. Peliy, A. Vasyukova [и др.] // *Research on crops*. – 2020. – Т. 3. – С. 67-74.
63. Influence of phosphorus fertilizers of various composition on the yield of tomato crops and control of their consumption by plants / N. Bagnavets, A. Zhevnerov, M. Grigoryeva, T. Pshenichkina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Т. 937. – № 2. – С. 022131.
64. Jao R. C. Growth of potato plantlets in vitro is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods / R. C. Jao, W. Fang // *HortScience*. – 2004. – Т. 39. – С. 380-382.
65. Jao R. C. Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets in vitro and tuber formation using light-emitting diodes / R. C. Jao, C. C. Lai, W. Fang // *HortScience*. – 2005. – Т. 40. – С. 436-438.
66. Kemertelidze E. Saturin - effective vegetative remedy in treatment of type 2 diabetes mellitus / E. Kemertelidze, T. Sagareishvili, V. Syrov // *Georgian Medical News*. – 2012. – Т. 2(203). – С. 47-52.
67. Kemertelidze E. Chemical compounds and pharmacological activity of the

- leaves of summer savory growing in Georgia / E. Kemertelidze, T. Sageraishvili, V. Syrov // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2004. – Т. 38(6). – С. 33-36.
68. Koch T. Virulence pattern of *Venturia inaequalis* field isolates and corresponding differential resistance in *Malus domestica* / T. Koch, M. Kellerhals, C. Gessler // *Phytopathology*. – 2000. – Т. 148. – № 6. – С. 357-364.
69. Kolychikhina M. S. Use of an iodine-based product against potato viruses / M. S. Kolychikhina, O. O. Beloshapkina // Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции (20-22 апреля 2016 г.) на английском языке. – М. : Изд. Спутник+, 2016. – С. 31-33.
70. Kolychikhina M. S. Change in potato productivity under the impact of viral diseases / M. S. Kolychikhina, O. O. Beloshapkina, C. Phiri // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Т. 663. – № 1. – С. 012035.
71. Komarova E. A. The peculiarities of the anatomical culm structure of different varieties of hexaploid winter triticale in connection with productivity of the spike / E. A. Komarova, V. V. Pylnev, V. S. Rubets // 6-th International Triticale Symposium. Programme and Abstracts of oral and poster presentations. – Stellenbosch, South Africa, 2006. – С. 58.
72. Konorev P. M. Nitrogen-fixing capacity of blue lupine varieties with different branching types / P. M. Konorev // *Oxidation Communications*. – 2021. – Т. 44. – № 3. – С. 686-695.
73. Konorev P. M. Nitrogen-fixing capacity of blue lupine varieties with different branching types / P. M. Konorev // *Oxidation Communications* . – 2021. – Т. 44. – № 3. – С. 686-695.
74. Korotkova A. M. A study on the biological activity of biosynthesized nanoparticles of metal oxides / A. M. Korotkova, O. B. Polivanova, I. A. Gavrish // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Т. 341(1). – № 012176. – С. 8.
75. Korotkova A. M. Green synthesis of zinc based nanoparticles zinc ferrite by *Petroselinum crispum* / A. M. Korotkova, O. B. Polivanova, I. A. Gavrish // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Т. 341(1). –

№ 012175. – C. 5.

76. Korotkova A. M. A study on the antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles obtained by the method of «green» synthesis / A. M. Korotkova, O. B. Polivanova, D. B. Kosyan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – T. 341(1). – № 012177. – C. 5.

77. Kosar M. Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxidant characteristics of extracts from selected Lamiaceae species / M. Kosar, H. J. D. Dorman, R. Hiltunen // Food Chemistry. – 2005. – T. 91. – C. 525-533.

78. Kumakhova T. K. The Maloideae (Rosaceae) structural and functional features determining passive immunity to mycosis / T. K. Kumakhova, O. O. Beloshapkina, A. S. Voronkov // Asian journal of research in botany. Sciencedomain International (Hooghly, West Bengal). – 2019. – T. 2. – № 1. – C. 1-13.

79. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change / R. Lal // Geoderma. – 2004. – T. 123. – № 1-2. – C. 1-22.

80. Lekakis E. H. Modeling the effects of different irrigation water salinity on soil water movement, uptake and multicomponent solute transport / E. H. Lekakis, V. Z. Antonopoulos // Journal of Hydrology. – 2015. – T. 530. – C. 431-446.

81. Lewandowski I. Progress on optimizing miscanthus biomass production for the european bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC / I. Lewandowski, Y. Iqbal, A. Kiesel // Frontiers in Plant Science. – 2016. – T. 7. – № NOV. – C. 1620.

82. Li H. Effects of blue light on flavonoid accumulation linked to the expression of miR393, miR394 and miR395 in longan embryogenic calli / H. Li, Y. Lin, X. Chen // PLoS ONE. – 2018. – T. 13(1). – № e0191444. – C. 22.

83. Liu H. K. The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts / H. K. Liu, Y. Y. Chen, T. T. Hu // Journal of Functional Foods. – 2016. – T. 25. – C. 459-465.

84. Lung I. Effect of microwave irradiation on polyphenolic compounds from *Satureja hortensis* L. / I. Lung, M. L. Soran, C. Tudoran // Central European

Journal of Chemistry. – 2013. – T. 11(4). – C. 535-541.

85. Ma Z. H. Synthesis of light-inducible and light-independent anthocyanins regulated by specific genes in grape 'Marselan' (*V. Vinifera* L.) / Z. H. Ma, W. F. Li, J. Mao // *PeerJ*. – 2019. – T. 7. – № e6521. – C. 24.

86. MacHardy W. E. Parasitic and biological fitness of *Venturia inaequalis*: Relationship to disease management strategies / W. E. MacHardy, D. M. Gadoury, C. Gessler // *Plant Disease*. – 2001. – T. 85. – № 10. – C. 1036-1051.

87. Mašković P. Summer savory extracts prepared by novel extraction methods resulted in enhanced biological activity / P. Mašković, V. Veličković, M. Mitić // *Industrial Crops and Products*. – 2017. – T. 109. – C. 875-881.

88. Mattick C. S. Cellular agriculture: the coming revolution in food production / C. S. Mattick // *Bulletin of the Atomic Scientists*. – 2018. – T. 74. – C. 32-35.

89. McCauley R. A. Systematics of North American *Froelichia* (Amaranthaceae subfam. Gomphrenoideae) I: Identification of consistent morphological variation and segregation of species complexes / R. A. McCauley, H. E. Ballard // *Brittonia*. – 2007. – T. 59. – C. 255-274.

90. Mchedlishvili D. Influence of flavonoids isolated from *Satureja hortensis* L. on hypercholesterolemic rabbits / D. Mchedlishvili, D. Mchedlishvili, Z. Kuchukashvili // *The Indian Journal of Pharmacology*. – 2005. – T. 37. – C. 259-260.

91. McLauchlan K. K. Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture / K. K. McLauchlan // *Geoderma*. – 2006. – T. 136. – № 1-2. – C. 289-299.

92. Mears A. J. The nomenclature and type collections of the widespread taxa of *Alternanthera* (Amaranthaceae) / A. J. Mears // *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. – 1978. – T. 129. – C. 1-2.

93. Mergoum M. Triticale improvement and production / M. Mergoum. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004. – 157 c.

94. Miller R. M. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation / R. M. Miller, J. D. Jastrow // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1990.

– Т. 22. – № 5. – С. 579-584.

95. Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production / N. Brosse, A. Dufour, X. Meng [и др.] // Biofuels, bioproducts & biorefining. – 2012.

96. Modulating plant growth-metabolism coordination for sustainable agriculture / S. Li, Y. Tian, K. Wu [и др.] // Nature. – 2018. – Т. 560. – С. 595-600.

97. Morphofunctional characteristics of leaves and fruits in maloideae (Rosaceae): B. The role of surface tissues in the formation of resistance to fungal diseases / T. K. Kumachova, O. O. Beloshapkina, A. S. Voronkov, A. S. Ryabchenko // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. – 2019. – № 180(2). – С. 95-101.

98. Moś M. Changes in the germinability and vigour of winter triticale seeds with sprouting damage / M. Moś // Plant, Soil and Environment. – 2003. – Т. 49. – С. 126-130.

99. Murashige T. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiologia Plantarum. – 1962. – Т. 15. – С. 473-497.

100. Nordlund E. Plant cells as food – a concept taking shape / E. Nordlund, M. Lille, P. Silventoinen // Food Research International. – 2018. – Т. 107. – С. 297-305.

101. Okamoto K. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source / K. Okamoto, T. Yanagi, S. Takita // Acta Horticulturae. – 1996. – Т. 440. – С. 111-116.

102. Optimization of Test Placer Composition for Express Colorimetric Determination of Mobile Forms of Phosphorus in Soil and Water Samples / A. V Zhevnerov, S. L. Belopuhov, N. L. Bagnavets [и др.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Т. 852. – № 1. – С. 012113.

103. Organic matter of sod-podzolic soil after transition to a fallow state / B. A. Borisov, O. E. Efimov, O. V Eliseeva [и др.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Т. 937. – № 2. – С. 022022.

104. Pistelli L. Composition of volatile in micropropagated and field grown aromatic plants from Tuscany Islands / L. Pistelli, F. Noccioli, F. D'Angiolillo // *Acta Biochimica Polonica*. – 2013. – T. 60(1). – C. 43-50.
105. Plánder S. Major antioxidant constituents from *Satureja hortensis* L. extracts obtained with different solvents / S. Plánder, L. Gontaru, B. Blazics // *European Journal of Lipid Science and Technology*. – 2012. – T. 114. – C. 772-779.
106. Polivanova O. B. In vitro antibacterial effect of silver nanoparticles synthesized using *Agastache foeniculum* plant and callus extracts / O. B. Polivanova, M. Y. Cherednichenko, E. A. Kalashnikova // *AIMS Agriculture and Food*. – 2021. – T. 6(2). – C. 631-643.
107. Pontis H. G. Fructans and cold stress / H. G. Pontis // *Journal of Plant Physiology*. – 1989. – T. 134. – C. 148-150.
108. Post W. M. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential / W. M. Post, K. C. Kwon // *Global Change Biology*. – 2000. – T. 6. – № 3. – C. 317-327.
109. Pranagal J. Physical properties of a Rendzic Phaeozem during a ten-year period of fallowing under the conditions of south-eastern Poland / J. Pranagal, E. Podstawka-Chmielewska // *Geoderma*. – 2012. – Тт. 189-190. – C. 262-267.
110. Quality control of industrial hemp seed products, varietal responsiveness of hemp seeds to bioregulator action / V. I. Trukhachev, I. I. Dmitrevskaya, S. L. Belopukhov, O. A. Zharkikh // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. – 2021. – T. 19. – № 5. – C. 921-928.
111. Reclamation and salt leaching efficiency for tile drained saline-sodic soil using marginal quality water for irrigating rice and wheat crops / A. Ghafoor, G. Murtaza, M. Z. Rehman [и др.] // *Land Degradation & Development*. – 2012. – T. 23. – № 1. – C. 1-9.
112. Rogozina E. V. Potato mosaic viruses which infect plants of tuber-bearing *Solanum* spp. growing in the VIR field gene bank / E. V. Rogozina, N. A. Mironenko, N. A. Chalaya // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. – 2019. – T. 23. – № 3. – C. 304-311.

113. Rossi V. Environmental factors influencing the dispersal of *Venturia inaequalis* ascospores in the orchard air / V. Rossi, L. Ponti, M. Marinelli // *Phytopathology*. – 2001. – T. 149. – № 1. – C. 11-19.
114. Sansavini S. Scab-tolerance segregation from two Italian apple germ-plasm cultivars to increase durability of resistance / S. Sansavini, S. Tartarini, F. Gennari // *Acta Horticulturae*. – 2000. – T. 538(1). – C. 243-247.
115. Schlesinger W. H. Soil respiration and the global carbon cycle / W. H. Schlesinger, J. A. Andrews // *Biogeochemistry*. – 2000. – T. 48. – № 1. – C. 7-20.
116. Shang H. M. In vitro and in vivo antioxidant activities of inulin / H. M. Shang, H. Z. Zhou, J. Y. Yang // *PloS ONE*. – 2018. – T. 13. – C. 19-22.
117. Shoaib M. Inulin: Properties, health benefits and food applications / M. Shoaib, A. Shehzad, M. Omar // *Carbohydrate Polymers*. – 2016. – T. 147. – C. 444-454.
118. Shulgina A. A. Influence of Light Conditions and Medium Composition on Morphophysiological Characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni In Vitro and In Vivo / A. A. Shulgina, E. A. Kalashnikova, I. G. Tarakanov // *Horticulturae*. – 2021. – T. 7. – № 195. – C. 14.
119. Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture / S. M. Kristiansen, P. Schjønning, I. K. Thomsen [и др.] // *Geoderma*. – 2006. – T. 137. – № 1-2. – C. 147-154.
120. Skovmand B. Triticale in commercial agriculture: progress and promise / B. Skovmand, P. N. Fox, R. L. Villareal // *Academic Press*. – 1984. – T. 37. – C. 1-45.
121. Sodicy-induced land degradation and its sustainable management: problems and prospects / M. Qadir, A. D. Noble, S. Schubert [и др.] // *Land Degradation & Development*. – 2006. – T. 17. – № 6. – C. 661-676.
122. Son K. H. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes / K. H. Son, M. M. Oh // *Hortscience*. – 2013. – T. 48. – C. 988-995.
123. Souza M. M. De. Analgesic properties of a hydroalcoholic extract obtained

- from *Alternanthera brasiliana* / M. M. De Souza, P. Kern, A. E. O. Floriani // *Phytotherapy Research*. – 1998. – Т. 12. – С. 279-281.
124. Spatial distribution of *Venturia inaequalis* airborne ascospores in orchards / J. Charest, M. Dewdney, T. Paulitz [и др.] // *Phytopathology*. – 2002. – Т. 92. – С. 769-779.
125. Specialist Bibliographic Databases / A. Y. Gasparyan, M. Yessirkepov, A. A. Voronov [и др.] // *Journal of Korean Medical Science*. – 2016. – Т. 31(5). – С. 660-673.
126. Suzuki M. Fructan in winter wheat, triticale and fall rye cultivars of varying cold hardiness / M. Suzuki, H. G. Nass // *Canadian Journal of Botany*. – 1988. – Т. 66. – С. 1723-1728.
127. Tepe B. Pharmacological and phytochemical overview on *Satureja* / B. Tepe, M. Cilkiz // *Pharmaceutical Biology*. – 2016. – Т. 54(3). – С. 375-412.
128. Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India / D. K. Benbi, K. Brar, A. S. Toor, P. Singh // *Geoderma*. – 2015. – Т. 237-238. – С. 149-158.
129. Triticale: A “New” crop with Old Challenges / M. Mergoum, P. K. Singh, R. J. Pena, A. J. Lozano del Rio // *Cereals*. New York: Springer. – 2009. – С. 1-21.
130. Trukhachev V. I. Formation of quality of dairy products on the example of a family business *Kaasboerderij Weenink Netherlands* / V. I. Trukhachev, N. Z. Zlydnev, O. V. Sycheva // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2016. – Т. 7(1). – С. 1125-1129.
131. Valle J. C. Del. On flavonoid accumulation in different plant parts: Variation patterns among individuals and populations in the shore campion (*Silene littorea*) / J. C. Del Valle, M. L. Buide, I. Casimiro-Soriguer // *Frontiers in Plant Science*. – 2015. – Т. 6. – № 939. – С. 13.
132. Wahsheh I. N. N. Optimization of apple and pear protection against scab by the use of ecological friendly products / I. N. N. Wahsheh, O. O. Beloshapkina // *Techno Science Africana Journal*. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 45-52.
133. Wang L. Effect of *Anoectochilus roxburghii* flavonoids extract on H₂O₂ -

Induced oxidative stress in LO2 cells and D-gal induced aging mice model / L. Wang, Q. Chen, S. Zhuang // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2020. – Т. 254. – № 112670.

134. Wang W. Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and secondary metabolite content of *Anoectochilus roxburghii* / W. Wang, M. Su, H. Li // *PeerJ*. – 2018. – Т. 6. – № e5274. – С. 20.

135. West T. O. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation / T. O. West, W. M. Post // *Soil Science Society of America Journal*. – 2002. – Т. 66. – № 6. – С. 1930-1946.

136. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. T. 1203. – Geneva : World Meteorological Organization (WMO), 2017.

137. Yeoman M. M. Manipulating secondary metabolism in cultured plant cells / M. M. Yeoman, C. L. Yeoman // *New Phytologist*. – 1996. – Т. 134. – С. 553-569.

138. Zhang X. H. Over-expression of the CHS gene enhances resistance of *Arabidopsis* leaves to high Light / X. H. Zhang, X. T. Zheng, B. Y. Sun // *Environmental and Experimental Botany*. – 2018. – Т. 154. – С. 33-43.

139. Zhao D. Effects of light on cell growth and flavonoids biosynthesis in callus cultures of *Saussurea medusa* Maxim / D. Zhao, M. Li, J. Xing // *Acta Photophysiological Sinica*. – 1999. – Т. 25(2). – С. 127-132.

140. Zhu J. K. Over expression of a deltapyrroline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice / J. K. Zhu // *Trends Plant Sci*. – 2001. – № 6. – С. 66-72.

141. Zielińska S. Phytochemistry and bioactivity of aromatic and medicinal plants from the genus *Agastache* (Lamiaceae) / S. Zielińska, A. Matkowski // *Phytochemistry Reviews*. – 2014. – Т. 13. – С. 391-416.

142. Аболова И. Б. Устойчивость тритикале к наиболее распространенным и вредоносным болезням / И. Б. Аболова, В. Я. Ковтуненко, А. С. Тархов // *Тритикале: Материалы международной практической конференции «Роль тритикале в стабилизации и увеличении производства зерна и кормов» и секции тритикале отделения растениеводства РАСХН*. – Ростов-на-Дону :

ДЗНИИСХ, 2010. – С. 271-278.

143. Агеев В. В. Корневое питание сельскохозяйственных растений / В. В. Агеев. – Ставрополь : Ставроп. ГСХА, 1996. – 134 с.

144. Агробиологические аспекты производства семенного картофеля с многослойной мульчей из мискантуса / В. А. Николаев, Н. Ф. Хохлов, А. А. Анисимов, И. Г. Тараканов // Картофель и овощи. – 2020. – № 2. – С. 31-34.

145. Агроэкологическая оценка применения гуматов с заданными свойствами / В. И. Савич, С. Л. Белопухов, Е. А. Гришина [и др.]. – Иркутск : ООО «Мегапринт», 2017. – 220 с.

146. Адаптивные структуры Maloideae (Rosaceae), детерминированные сублимитирующими факторами / Т. Х. Кумахова, О. О. Белошапкина, А. С. Воронков, А. С. Рябченко // Экосистемы. – 2019. – № 18. – С. 35-47.

147. Азотное питание растений и эффективность азотных удобрений в дерново-подзолистых почвах разного плодородия / Н. А. Сапожников, Т. К. Ливанов, Е. И. Нестерова, В. В. Сидорова // Применение стабильного изотопа ^{15}N в исследованиях по земледелию. – М. : Колос, 1973. – С. 146-157.

148. Айтжанова С. Д. Создание устойчивых к грибным болезням сортов - основное решение проблемы защиты растений / С. Д. Айтжанова, Н. В. Андропова // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – 2013. – Т. XXXVI. – № 1. – С. 14-19.

149. Айтжанова С. Д. Создание устойчивых к грибным болезням сортов - основное решение проблемы защиты растений / С. Д. Айтжанова, Н. В. Андропова // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – 2013. – Т. XXXVI. – С. 14-19.

150. Аккумуляция селена растениями в зависимости от количества микроэлемента в черноземах пензенской области / В. А. Вихрева, Т. Б. Лебедева, А. И. Бобылев, В. А. Мачнев // Нива Поволжья. – 2011. – № 2(19). – С. 2-6.

151. Александровская Е. Ю. Экологическая оценка действия селена в системе почва–растение в условиях Западной Сибири / Е. Ю.

- Александровская, А. В. Синдирева, В. В. Иеронова // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 104-110.
152. Алексеев Г. В. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Г. В. Алексеев, А. Е. Асарин, Ж. А. Балонишникова. – М. : Росгидромет, 2014.
153. Альтергот В. Ф. Действие повышенной температуры на растения в эксперименте и природе / В. Ф. Альтергот // Сороковые ежегодные Тимирязевские чтения. – Москва : Наука, 1981. – С. 57.
154. Аналитический контроль природных вод на содержание ионов Mn (II) / И. Н. Сенчакова, А. В. Осипова, Э. Ю. Юшкова, Э. Р. Оскотская // Экология. Производство. Общество. Человек. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2016. – С. 80-84.
155. Андреюк А. И. Почвенные микроорганизмы и интенсивное земледелие / А. И. Андреюк, Г. А. Иутинская, А. Н. Дульгеров. – Киев : Наукова думка, 1988. – 189 с.
156. Анизотропия некоторых почв зонального ряда / А. И. Поздняков, С. М. Шалагинова, А. В. Русаков, А. . Позднякова // Почвоведение. – 2009. – № 11. – С. 1308-1319.
157. Аникеева Н. Ф. Особенности наследования детерминантного типа ветвления у люпина узколистного *L. angustifolius* / Н. Ф. Аникеева, П. М. Конорев // Материалы научной Генетической Конференции 26-27 февраля 2002 г. Посвященная 100-летию со дня рождения А.Р. Жебрака и 70-летию образования кафедры генетики в МСХА Им. К.А. Тимирязева. – 2002. – С. 8-9.
158. Аникеева Н. Ф. Особенности наследования детерминантного типа ветвления у люпина узколистного *L. angustifolius* / Н. Ф. Аникеева, П. М. Конорев // Материалы научной Генетической Конференции 26-27 февраля 2002 г. Посвященной 100-летию со дня рождения А.Р. Жебрака и 70-летию

образования кафедры генетики в МСХА им. К.А. Тимирязева. – М. : Изд-во МСХА, 2002. – С. 8-9.

159. Анисимов А. А. Продукционный процесс мискантуса (*Miscanthus spp.*) в средней полосе России / А. А. Анисимов, И. Г. Тараканов, Н. Ф. Хохлов // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки : БГСХА, 2019. – С. 24-28.

160. Анисимов А. А. Мискантус (*Miscanthus spp.*) в России: возможности и перспективы / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2016. – Т. 12. – С. 3-5.

161. Анисимов А. А. Особенности фотопериодической регуляции онтогенеза у различных видов мискантуса (*Miscanthus Spp.*) / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Известия ТСХА. – 2016. – № 6. – С. 56-72.

162. Анисимов А. А. Эколого-физиологические аспекты продукционного процесса растений мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis Anderss.*) - традиционного лекарственного растения китайской медицины / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине. – М., 2016. – С. 350-353.

163. Анисимов А. С. О формах нахождения и вертикального распределения ^{137}Cs в почвах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / А. С. Анисимов, Н. И. Санжарова, Р. М. Алексахин // Почвоведение. – 1991. – № 9. – С. 31-40.

164. Анохина В. С. Люпин: селекция, генетика, эволюция / В. С. Анохина. – Минск : БГУ, 2012. – 271 с.

165. Анохина В. С. Люпин: селекция, генетика, эволюция / В. С. Анохина, Г. А. Дебелый, П. М. Конорев. – Минск : БГУ, 2012. – 271 с.

166. Аристархов А. Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / А. Н. Аристархов. – М. : Москва, 2000. – 522 с.

167. Аронов С. Изотопные методы в биохимии / С. Аронов. – М. : Издательство иностранной литературы, 1959. – 395 с.
168. Атлас болезней, вредителей, сорняков картофеля и мероприятия по борьбе с ними / В. Н. Зейрук, С. В. Жевора, С. В. Васильева [и др.]. – М. : Наука, 2020. – 322 с.
169. Багнавец Н. Л. Очистка фосфорной кислоты от примесных фторидов с использованием силикагеля / Н. Л. Багнавец // Современные проблемы экологии и естественных наук. – Троицк : ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2021. – С. 7-12.
170. Багнавец Н. Л. Получение пищевой фосфорной кислоты экстракцией из апатитового сырья с использованием 100 % ТБФ / Н. Л. Багнавец, Б. Я. Зильберман, И. Б. Квасницкий // Химическая технология. – 2005. – № 8. – С. 11-14.
171. Багнавец Н. Л. Поведение фосфорной, серной и плавиковой кислот при их совместной экстракции 100% трибутилфосфатом / Н. Л. Багнавец, Г. Д. Клинский, Г. А. Кесоян // Химическая технология. – 2003. – № 9. – С. 6-8.
172. Багнавец Н. Л. Совместная экстракция фосфорной, серной и плавиковой кислот / Н. Л. Багнавец, Г. Д. Клинский, Г. А. Кесоян // Известия ТСХА. – 2002. – № 4. – С. 135-143.
173. Багнавец Н. Л. Использование очищенной экстракционным способом фосфорной кислоты для получения чистых удобрений / Н. Л. Багнавец, Е. С. Чащина // Известия ТСХА. – 2010. – № 5. – С. 151-155.
174. Баженов М. С. Влияние факторов окружающей среды на покой семян и прорастание зерна в колосе озимой тритикале / М. С. Баженов, В. В. Пыльнев, И. Г. Тараканов // Известия ТСХА. – 2011. – № 6. – С. 30-38.
175. Баздырев И. Г. Интегрированная защита растений от вредных организмов. Учебное пособие / И. Г. Баздырев, Н. Н. Третьяков, О. О. Белошопкина. – М. : Инфра-М, 2014. – 302 с.
176. Байбеков Р. Ф. Природоподобные технологии – основа стабильного развития земледелия / Р. Ф. Байбеков // Земледелие. – 2018. – № 2. – С. 5-8.

177. Барабой В. А. Селен: биологическая роль и антиоксидантная активность / В. А. Барабой, Е. Н. Шестакова // Укр. біохім. журн. – 2004. – Т. 76. – № 1. – С. 23-32.
178. Барсукова О. Н. Изменение расового состава *Venturia inaequalis* (Ске.)Wint / О. Н. Барсукова // Микология и фитопатология. – 1991. – Т. 25. – № 6. – С. 546-549.
179. Басаргин Н. Н. Концентрирование меди хелатообразующим сорбентом полистирол-2-окси-азо-2'-окси-3',5'-динитробензол для анализа питьевых и природных вод / Н. Н. Басаргин, Э. Р. Оскотская, А. В. Чеброва // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73. – № 7. – С. 10-13.
180. Баят Х. А. Применение биорегуляторов для снижения поступления тяжелых металлов в базилик / Х. А. Баят, С. Л. Белопухов // Глобальные проблемы экологии. – 2016. – С. 24-27.
181. Баят Х. А. Агротехнологии выращивания базилика зеленого (*Oscimumbasilicum* L.) с применением биостимуляторов / Х. А. Баят, С. Л. Белопухов, И. И. Дмитревская // Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства. – 2019. – С. 143-146.
182. Безуглова О. С. Свойства гуминовых кислоты почв урбанизированных территорий / О. С. Безуглова, С. Н. Горбов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 2(10). – С. 89-103.
183. Беленков А. И. Совершенствование технологии возделывания картофеля в системе точного земледелия / А. И. Беленков, Е. В. Березовский, С. В. Железнова // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 30-34.
184. Беленков А. И. Результаты полевого опыта Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / А. И. Беленков, В. Д. Полин, С. В. Железнова // Нивы России. – 2018. – № 4(160). – С. 42-57.
185. Беленков А. И. Основная обработка почвы: сравнительная оценка в современных системах земледелия / А. И. Беленков, У. Сабо, Р. И. Кунафин // Нивы России. – 2016. – № 1(144). – С. 68-69.
186. Беленков А. И. Изучение влияния технологии обработки на плодородие

дерново-подзолистой почвы в полевом опыте ЦТЗ / А. И. Беленков, У. Сабо, Н. В. Малахов // *Агрохимический вестник*. – 2016. – № 3. – С. 29-32.

187. Беленков А.И. Влияние обработки на урожайность полевых культур и показатели малопродуктивной дерново-подзолистой почвы в опыте ЦТЗ / Беленков А.И., М. А. Мазиров // *Основные достижения, подходы и перспективы повышения плодородия деградированных почв: колл. монография*. – М., 2019. – С. 132-140.

188. Белобусов А. С. Влияние некорневой подкормки яровой пшеницы сульфатом цинка на усвоение отдельных форм азота при разной обеспеченности почвы подвижным фосфором / А. С. Белобусов, В. М. Лапушкин, И. В. Верниченко // *Агрохимический вестник*. – 2021. – № 6. – С. 29-33.

189. Белолобцев А. И. Агроклиматическая оценка продуктивности фитоценозов на склоновых землях / А. И. Белолобцев // *Известия ТСХА*. – 2010. – № 4. – С. 31-40.

190. Белолобцев А. И. Агроэкологические аспекты современного климата / А. И. Белолобцев // *Труды ГУ ВНИИСХМ*. – 2010. – № 37. – С. 296-314.

191. Белолобцев А. И. Адаптация сельского хозяйства с учетом текущих и ожидаемых климатических рисков / А. И. Белолобцев // *Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям: Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. – М. : РГАУ-МСХА, 2011. – С. 11-22.

192. Белолобцев А. И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод в условиях неустойчивых зим / А. И. Белолобцев, С. И. Чебаненко, И. С. Кочетов // *Известия ТСХА*. – 1997. – № 3. – С. 48-57.

193. Белопухов С. Л. Физико-химические свойства органо-минерального комплекса из растительных остатков льняной костры / С. Л. Белопухов, И. И. Дмитревская, Е. А. Гришина // *Агрохимия*. – 2016. – № 6. – С. 20-28.

194. Белопухов С. Л. Исследование химического состава отходов льно- и пенькопроизводства / С. Л. Белопухов, И. И. Дмитревская, В. М. Лукомец //

- Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 6. – С. 59-61.
195. Белопухов С. Л. Экспресс-анализ состава и энергетической ценности кормов / С. Л. Белопухов, И. И. Дмитриевская, В. В. Федяев // Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве. – 2016. – С. 6-8.
196. Белопухов С. Л. Научно-педагогическая школа химии в Петровской земледельческой и лесной академии - Российском государственном аграрном университете - МСХА имени К.А. Тимирязева / С. Л. Белопухов, Н. М. Пржевальский, С. Н. Смарицын // Известия ТСХА. – 2014. – № 6. – С. 114-140.
197. Белоус О. Г. Влияние микроэлементов на интенсивность фотосинтеза растений чая в зоне влажных субтропиков России / О. Г. Белоус // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 5.
198. Белошапкина О. О. Биопрепараты в защите садовых растений против фитопатогенных грибов / О. О. Белошапкина // Мат. междунар науч.-практ. конф. «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем» 20-22 сентября 2016г. – Краснодар, 2016. – С. 533-537.
199. Белошапкина О. О. Использование агрохимикатов и биопрепаратов для защиты яблони и груши от парши / О. О. Белошапкина // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2014. – № 51. – С. 267-272.
200. Белошапкина О. О. Результаты испытаний новых препаратов и агрохимикатов против парши груши (*Venturia pirina*) / О. О. Белошапкина, И. Н. Н. Вахшех, Е. Т. Илюсинов // Плодоводство и ягодоводство России. – 2013. – Т. XXXVI. – № 1. – С. 44-49.
201. Белошапкина О. О. Влияние химических и биологических препаратов на *Venturia pyrina* - возбудителя парши груши / О. О. Белошапкина, И. Н. Н. Вахшех, А. С. Рябченко // Микология и фитопатология. – 2015. – Т. 49. – № 1. – С. 48-53.
202. Белошапкина О. О. Фитопатология. Учебник / О. О. Белошапкина, А. П. Гнилушкин, Ф. С. Джалилов; ред. О. О. Белошапкина. – М. : Инфра-М, 2020. – 288 с.

203. Белошапкина О. О. Грибные болезни айвы и мушмулы, их взаимосвязь с микроструктурными особенностями покровных тканей / О. О. Белошапкина, Т. Х. Кумахова, А. С. Воронков // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 2(34). – С. 27-34.
204. Белошапкина О. О. Мониторинг грибных болезней сортов яблони и груши / О. О. Белошапкина, Д. Н. Митин, Л. В. Фролова // Материалы II Всерос. конф. с международ. участием. 22-26 апреля 2019 г. «Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике». – М., 2019. – С. 23-24.
205. Белошапкина О. О. Белошапкина, О.О. Антиоксидантная система защиты у клубней картофеля при вирусных заболеваниях / О. О. Белошапкина, О. Ф. Панфилова, А. А. Чернышов // Сборник докладов Всероссийской конференции «Инновации сельскому хозяйству». – Калининград : КГТУ, 2013. – С. 8-10.
206. Белошапкина О. О. Влияние агрохимикатов на инфекционные структуры патогенных грибов рода *Fusicladium* / О. О. Белошапкина, А. С. Рябченко // Сб. трудов межд. конф. Вредители и болезни древесных растений России 18–20 ноября 2014 г. – СПб. : СПбГЛТУ, 2014. – С. 12-13.
207. Белошапкина О. О. Ингибирование фитопатогенных грибов рода *Fusicladium* под влиянием агрохимикатов / О. О. Белошапкина, А. С. Рябченко // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2015. – № 211. – С. 135-146.
208. Белошапкина О. О. Морфологические изменения конидий возбудителя мучнистой росы розы под влиянием фунгицида и регуляторов роста / О. О. Белошапкина, И. Н. Сафронова // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М. : ВСТИСП, 2010. – Т. XXIV. – С. 14-18.
209. Белошапкиная О. О. Болезни картофеля, овощей и плодов в период хранения / О. О. Белошапкиная // Защита и карантин растений. – 2001. – № 12. – С. 38-41.
210. Березкин А. М. Факторы и условия развития семеноводства

- сельскохозяйственных растений в Российской Федерации / А. М. Березкин, А. М. Малько, Л. А. Смирнова. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2006. – 302 с.
211. Березкин А. Н. Основы сертификации семян сельскохозяйственных растений и ее структурные элементы: учебное пособие / А. Н. Березкин, А. М. Малько, В. В. Пыльнев. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2010. – 335 с.
212. Березкин А. Н. Международный опыт развития селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур: учебное пособие / А. Н. Березкин, А. М. Малько, М. Ю. Чередниченко. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 447 с.
213. Березкин А. Н. Развитие нормативно-правовой базы в области селекции и семеноводства / А. Н. Березкин, М. Ю. Чередниченко, А. М. Малько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3(54). – С. 381-387.
214. Беркутова Н. С. Методы оценки и формирование качества зерна / Н. С. Беркутова. – М. : Росагропромиздат, 1991. – 206 с.
215. Беркутова Н. С. Оценка и отбор зерновых культур на устойчивость к прорастанию в колосе: Обзор / Н. С. Беркутова, О. А. Буко. – М. : Деп. В Центр информации и технико-экономических исследований АПК, 1982. – 59 с.
216. Биосинтез компонентов эфирного масла мяты сорта Янтарная под влиянием предуборочной обработки гербицидами / В. М. Лукомец, Л. О. Сушкова, С. Л. Белопухов [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3. – С. 31-34.
217. Биосинтез компонентов эфирного масла мяты сорта Янтарная под влиянием предуборочной обработки гербицидами / В. М. Лукомец, Л. О. Сушкова, С. Л. Белопухов [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3. – С. 31-33.
218. Блоцкая Ж. В. Вирусные, виroidные и фитоплазменные болезни картофеля / Ж. В. Блоцкая. – Минск : Технология, 2000. – 119 с.
219. Бовина Н. В. Экологическая оценка влияния применения различных

- систем удобрения на гумусовое состояние дерново-подзолистых почв в длительных стационарных опытах / Н. В. Бовина. – Москва, 2020. – 142 с.
220. Богдевич И. М. Зависимость урожайности и качества продукции зерновых культур от обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв фосфором и доз минеральных удобрений / И. М. Богдевич, В. А. Микулич, Г. И. Каленик // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2(45). – С. 55-72.
221. Болдырев М. И. Значение защиты яблони от парши в начальный период вегетации / М. И. Болдырев, Н. Я. Каширская // Вестник университета. Мичуринск: МГАУ. – 2004. – С. 226-229.
222. Болдырев Н. К. Листовая диагностика как метод прогнозирования качества урожая сельскохозяйственных культур / Н. К. Болдырев // Труды ВИУА. – 1980. – № 59. – С. 29-33.
223. Болезни и вредители овощных культур и картофеля. Справочник / А. К. Ахатов, Ф. Б. Ганнибал, Ю. И. Мешков [и др.]. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 463 с.
224. Бухарин П. Д. Некоторые итоги интродукции Эстрагона в Главном ботаническом саду АН СССР / П. Д. Бухарин, Е. П. Воронина, Л. Б. Дмитриев // Бюллетень Главного ботанического сада АН СССР. – 1989. – № 153. – С. 3-9.
225. Быстрая В. Г. Прогнозирование развития парши яблони / В. Г. Быстрая // Защита и карантин растений. – 2002. – № 6. – С. 33-34.
226. Вихрева В. А. Селен в жизни растений / В. А. Вихрева, А. А. Блинохватов, Т. В. Клейменова. – Пенза : РИО ПГСХА, 2012. – 222 с.
227. Влияние биологически активных соединений на состав, строение и содержание основных продуктов биосинтеза растений. Часть 1. Влияние обработки растений гербицидами на характер биосинтеза эфирного масла *Mentha piperita* L. сорта Янтарная / Л. О. Сушкова, В. Л. Дмитриева, Л. Б. Дмитриев, С. Л. Белопухов // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 34. – № 4. – С. 149-151.
228. Влияние гербицида дифлюфеникан на химический состав эфирного

- масла *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Nyl / Р. Ф. Байбеков, В. Л. Дмитриева, С. Л. Белопухов [и др.] // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 3-9.
229. Влияние природы комплексообразующей группы функциональных материалов на основе сополимера стирола и дивинилбензола на сорбцию свинца II / Э. Р. Оскотская, Е. Н. Грибанов, И. Н. Сенчакова [и др.] // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2015. – № 4. – С. 120-123.
230. Влияние различных систем обработки и удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы / М. А. Мазиров, Н. С. Матюк, В. Д. Полин, Н. В. Малахов // Земледелие. – 2018. – № 2. – С. 33-36.
231. Волобуева О. Г. Влияние биопрепарата Ризоторфин и Альбит на содержание фитогормонов в растениях гороха разных сортов и эффективность симбиоза / О. Г. Волобуева // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 2(30). – С. 14-20.
232. Волобуева О. Г. Влияние Корневина и Ризоторфина на гормональный статус и эффективность симбиотической системы растений фасоли / О. Г. Волобуева // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 2(34). – С. 29-34.
233. Волобуева О. Г. Влияние препарата Эпин-экстра на содержание фитогормонов в растениях сои разных сортов и эффективность симбиоза / О. Г. Волобуева // Агрехимия. – 2015. – № 7. – С. 47-54.
234. Волобуева О. Г. Эффективность инокуляции семян фасоли при обработке препаратом Эпин-Экстра / О. Г. Волобуева // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». – 2015. – № 4(16). – С. 42-47.
235. Волобуева О. Г. Влияние эпина на азотфиксирующую активность растений сои разных сортов / О. Г. Волобуева, С. Л. Белопухов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 1(72). – С. 93-98.

236. Волобуева О. Г. Влияние биопрепаратов и регуляторов роста на эффективность бобово-ризобиального симбиоза фасоли / О. Г. Волобуева, М. П. Мирошникова, Т. С. Наумкина // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». – 2016. – № 3(19). – С. 56-62.
237. Волобуева О. Г. Изменение содержания фитогормонов и эффективность симбиоза в растениях фасоли при обработке эпином / О. Г. Волобуева, И. В. Скоробогатова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – Т. 4. – С. 19-22.
238. Волобуева О. Г. Взаимодействие биологически активных веществ ризобий и ризобактерий с эндогенными фитогормонами растений гороха разных сортов / О. Г. Волобуева, И. В. Скоробогатова, В. К. Шильникова // Агрохимия. – 2008. – № 8. – С. 42-45.
239. Вольтамперометрический контроль содержания селена и его форм в растениях и пищевых добавках с использованием экстракции и ионного обмена / В. И. Дерябина, Л. Н. Скворцова, Э. А. Захарова, Г. Б. Слепченко // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2006. – Т. 72. – № 11. – С. 7-10.
240. Воронина Е. П. Состав эфирного масла некоторых видов и сортов мяты, интродуцированных в Главном ботаническом саду / Е. П. Воронина, Л. Б. Дмитриев, И. И. Грандберг // Известия ТСХА. – 1990. – № 4. – С. 166-170.
241. Временные нормативы затрат удобрений на проведение работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей. – М. : ВНИПТИХИМ, 1982. – 10 с.
242. Гаврилов К. А. Влияние различных лесных культур на почву / К. А. Гаврилов // Лесное хозяйство. – 2000. – № 3. – С. 30-37.
243. Геннадиев А. Н. принципах группировки и номенклатуры техногенно-измененных почв / А. Н. Геннадиев, Н. П. Солнцева, М. И. Герасимова // Почвоведение. – 1992. – № 2. – С. 49-61.
244. Герасимова М. И. «Короткая память» дерново-подзолистых почв в лесовосстановительных сукцессиях / М. И. Герасимова, Л. Б. Исаченкова //

«Память почв». – ЛКИ, 2008. – С. 638-649.

245. Гмошинский И. В. Минеральные вещества в питании человека. Селен: всасывание и биодоступность / И. В. Гмошинский, В. К. Мазо // Вопросы питания. – 2006. – Т. 75. – № 5. – С. 15-21.

246. Головин С. Е. Грибные болезни на плодовых образованиях семечковых культур / С. Е. Головин, Т. И. Романченко // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М., 2013. – Т. XXXVI. – С. 92-100.

247. Государственные стандарты Союза ССР. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. Ч. II. Издание официальное. – М., 1991. – 415 с.

248. Градусов В. М. Структура почвенного покрова Лесной опытной дачи ТСХА / В. М. Градусов, Н. П. Сорокина, В. Д. Наумов // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты. – СПб : Издательский дом С.-Петербур. Гос. ун-та, 2007. – С. 671.

249. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ. – Собрание законодательства РФ, 2006, № 52 (1ч.), ст. 5496.

250. Гриб С. И. Селекция тритикале в Беларуси: результаты, проблемы и пути их решения / С. И. Гриб // Тритикале: Материалы международной практической конференции «Роль тритикале в стабилизации и увеличении производства зерна и кормов» и секции тритикале отделения растениеводства РАСХН. – Ростов-на-Дону : ДЗНИИСХ, 2010. – С. 74-78.

251. Григорьева М. В. Внедрение концепции устойчивого образования: на примере преподавания «зелёной» химии в аграрном вузе / М. В. Григорьева // Современное педагогическое образование. – 2022. – № 3. – С. 62-66.

252. Григорьева М. В. Компетенция «Определение токсичных элементов в сельскохозяйственной продукции» / М. В. Григорьева // Проблемы современного образования. – 2022. – Т. 1. – С. 247-258.

253. Григорьева М. В. Обучение химическим дисциплинам в аграрном вузе: опыт цифровизации / М. В. Григорьева // Вестник Тверского

государственного университета. Серия: Педагогика и психология. – 2021. – № 3(56). – С. 154-161.

254. Григорьева М. В. Химическая подготовка современного агрария: изучение мнения работающих специалистов / М. В. Григорьева // Международный научный журнал. – 2021. – № 4. – С. 68-76.

255. Григорьева М. В. Учебно-исследовательская работа студентов как компонент системы преемственности между бакалавриатом и магистратурой / М. В. Григорьева, Н. Л. Багнавец, С. Л. Белопухов // История и педагогика естествознания. – 2021. – № 1-2. – С. 5-10.

256. Григорьева М. В. Аспекты химической подготовки кадров для органического земледелия / М. В. Григорьева, С. Л. Белопухов // Профессиональное образование в современном мире. – 2021. – Т. 11. – № 3. – С. 154-165.

257. Григорьева М. В. Химические дисциплины в системе «бакалавриат - магистратура - аспирантура аграрного вуза» / М. В. Григорьева, С. Л. Белопухов // История и педагогика естествознания. – 2020. – № 2. – С. 5-8.

258. Григорьева М. В. Этапы становления системы химической подготовки студентов аграрных вузов в России / М. В. Григорьева, С. Л. Белопухов // Преподаватель XXI век. – 2022. – № 2-2. – С. 288-313.

259. Григорян М. А. Получение оздоровленного картофеля и диагностика вирусных заболеваний в условиях Энгельсского района Саратовской области / М. А. Григорян, О. В. Ткаченко // Аграрная наука. – 2019. – № 3. – С. 60-63.

260. Грингоф И. Г. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения / И. Г. Грингоф, А. Д. Пасечнюк. – СПб : Гидрометеиздат, 2005. – 552 с.

261. Гриценко В. В. Использование препаратов группы неоникотиноидов для защиты картофеля от колорадского жука / В. В. Гриценко, Н. Н. Москвин // Известия ТСХА. – 2011. – № 6. – С. 49-59.

262. Гришина Е. А. Влияние органо-минерального комплекса из льняной костры на урожай и качество льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) и белого люпина (*Lupinus albus*): дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Е. А. Гришина. –

М, 2015. – 170 с.

263. Гришина Е. А. Исследование волокна льна-долгунца, выращиваемого с применением экстрактов из гумифицированной льняной костры / Е. А. Гришина, С. Л. Белопухов // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 34. – № 4. – С. 157-162.

264. Гришина Е. А. Исследование химического состава и ростостимулирующего действия экстрактов из гумифицированной льняной костры / Е. А. Гришина, С. Л. Белопухов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2012. – Т. 2. – № 1. – С. 97-103.

265. Груза Г. В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата Российской Федерации: температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИМЦД», 2012. – 196 с.

266. Гудковский В. А. Эффективная система защиты сада от вредителей и болезней / В. А. Гудковский, Н. Я. Каширская, Е. М. Цуканова // АГРО XXI. – 2002. – № 7. – С. 51-52.

267. Гурбанов Э. А. Деградация почв в результате эрозии при поливе по бороздам / Э. А. Гурбанов // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1494-1500.

268. Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы / Ф. Ф. Давитая. – М. : Гидрометеиздат, 1964. – 131 с.

269. Даньшин Б. М. Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и её окрестностей / Б. М. Даньшин; ред. А. В. Симонов. – Издательство Московского общества испытателей природы, 1947. – 307 с.

270. Деева В. П. Роль регуляторов роста в повышении адаптивных свойств отдельных генотипов к стрессовым факторам / В. П. Деева, Н. В. Санько // Физиология растений и экология на рубеже веков. – Ярославль, 2003. – С. 197.

271. Действие 100-летних бессменных культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Н. С. Матюк, М. А. Мазиров, Д. М. Кашеева, В. Д. Полин // Агрохимический вестник. – 2016. – № 6. – С. 25-29.

272. Демаков Ю. П. Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кок-шага». – 2009. – Т. 4. – С. 24-67.
273. Демаков Ю. П. Потенциальная производительность древостоев основных лесообразующих пород России / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // ЭКО-ПОТЕНЦИАЛ. – 2014. – Т. 4(8). – С. 41-50.
274. Демиденко Г. А. Эффективность биостимуляторов при выращивании петрушки и укропа на разных почвогрунтах / Г. А. Демиденко, Д. Ф. Жирнова // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 5(104). – С. 108-113.
275. Демин Г. В. Влияние различных типов леса на содержание и качественный состав гумуса дерново-оподзоленных почв / Г. В. Демин // Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы. – Уфа, 1997. – С. 118-119.
276. Демьянов Н. Я. Эфирные масла их состав и анализ / Н. Я. Демьянов, В. И. Нилов, В. В. Вильямс; ред. Н. Я. Демьянов. – М.-Л. : Госиздат, 1930. – 300 с.
277. Дергачева М. И. Динамичность как одно из свойств гумуса / М. И. Дергачева // Современные проблемы гумусообразования. – Сыктывкар, 1986. – С. 61-68.
278. Дергачева М. И. Система гумусовых веществ почв / М. И. Дергачева. – Новосибирск : Наука, 1989. – 110 с.
279. Динамика накопления и компонентного состава эфирного масла розмарина (*Rosmarinus officinalis* L.), произрастающего на Южном берегу Крыма / С. Л. Белопухов, Л. А. Хлыпенко, О. М. Шевчук [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 6. – С. 129-140.
280. Дмитриева В. Л. Исследование состава эфирного масла нетрадиционных для Нечерноземной зоны России эфиромасличных растений / В. Л. Дмитриева // Лекарственное растениеводство. – М, 2000. – С. 370-376.
281. Дмитриева В. Л. Состав эфирных масел некоторых эфирносов

- интродуцированных в Нечернозёмной зоне России / В. Л. Дмитриева // Труды Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений. – 2006. – С. 308-312.
282. Дмитриева В. Л. К вопросу об интродукции новых нетрадиционных эфиромасличных культур / В. Л. Дмитриева, Л. Б. Дмитриев // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – Пущино, 2003. – С. 45-47.
283. Дмитриева В. Л. Сравнительные характеристики состава эфирных масел растений, перспективных для возделывания в Московской области / В. Л. Дмитриева, Л. Б. Дмитриев, С. С. Шаин // Доклады ТСХА. – 2004. – № 276. – С. 80-83.
284. Дмитриева В. Л. Регуляция соотношения компонентов эфирного масла *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Nyl / В. Л. Дмитриева, Л. О. Сушкова, Л. Б. Дмитриев // Доклады ТСХА. – 2020. – Т. 292. – № II. – С. 405-409.
285. Доспехов Б. А. Действие 60-летних бессменных культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Б. А. Доспехов, А. Н. Братерская, Б. Д. Кирюшин // Известия ТСХА. – 1975. – № 2. – С. 43-53.
286. Доспехов Б. А. Действие 60-летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборота на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Б. А. Доспехов, Б. Д. Кирюшин, А. Н. Братерская // Агрохимия. – 1976. – № 4. – С. 3-14.
287. Доспехов Б. А. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы по профилю под влиянием 62-летнего применения удобрений и периодического известкования / Б. А. Доспехов, Б. Д. Кирюшин, А. Н. Братерская // Известия ТСХА. – 1975. – № 6. – С. 30-40.
288. Доспехов В. А. Методика полевого опыта / В. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 336 с.
289. Дубовик Е. В. Влияние дождевания на макроструктуру чернозема типичного / Е. В. Дубовик // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 350-355.
290. Егоров В. Е. Опыт длится 60 лет / В. Е. Егоров. – М. : Знание, 1972. –

30 с.

291. Егорова А. М. Особенности производства эфирных масел / А. М. Егорова, О. В. Решетникова // II Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика. – СПб : Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, 2014. – С. 42-49.
292. Елисеев А. Ф. Формирование ассимиляционного аппарата индау посевного при выращивании в условиях проточной гидропоники / А. Ф. Елисеев, О. В. Елисеева // Доклады ТСХА. – 2016. – № 288(1). – С. 414-417.
293. Елисеев А. Ф. Особенности формирования урожая у редьки листовой при разной густоте стояния растений / А. Ф. Елисеев, О. В. Елисеева, Т. М. Середин // Овощи России. – 2011. – № 1(10). – С. 36-39.
294. Елисеева О. В. Особенности формирования урожая и показатели качества листовой редьки: дисс. канд. биол. наук / О. В. Елисеева. – М, 2007. – 193 с.
295. Елисеева О. В. Накопление микроэлементов разными сортами редьки / О. В. Елисеева, А. Ф. Елисеев // Картофель и овощи. – 2007. – № 1. – С. 31-31.
296. Елисеева О. В. Некорневая обработка растений редьки (*Raphanus sativus*) хромокалиевыми квасцами как способ получения обогащённой хромом продукции / О. В. Елисеева, А. Ф. Елисеев // Бутлеровские сообщения. – 2012. – Т. 30. – № 4. – С. 153-156.
297. Елисеева О. В. Химический состав продукции *Raphanus indicus* в зависимости от некорневых микроэлементных подкормок / О. В. Елисеева, А. Ф. Елисеев // Картофель и овощи. – 2019. – № 8. – С. 18-20.
298. Елисеева О. В. Применение БИК-анализа для исследования химического состава листовой редьки / О. В. Елисеева, А. Ф. Елисеев, С. Л. Белопухов // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 12. – С. 143-146.
299. Елисеева О. В. Применение ближней инфракрасной спектроскопии для анализа химического состава базилика / О. В. Елисеева, А. Ф. Елисеев, С. Л.

- Белопухов // Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т. 60. – № 12. – С. 152-156.
300. Ермохин Ю. И. Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях / Ю. И. Ермохин. – Омск : Вариант-Омск, 2010. – 120 с.
301. Ефимова И. Л. Влияние изменения погодных условий на устойчивость сортов яблони к микозам в условиях южного садоводства / И. Л. Ефимова // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М., 2013. – Т. XXXVI. – С. 175-181.
302. Ефремов А. А. Метод исчерпывающей гидропародистилляции при получении эфирных масел дикорастущих растений / А. А. Ефремов // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 7. – С. 88-94.
303. Жарких О. А. Изучение физико-химических показателей качества пеньковолокна при применении фиторегуляторов ГФК и Флоравит / О. А. Жарких // Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства / ред. В. Г. Сычев. – 2018. – С. 73-75.
304. Жарких О. А. О перспективах глубокой переработки коноплепродукции / О. А. Жарких // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2021. – С. 184-187.
305. Жарких О. А. Физико-химические показатели качества Cannabis Sativa L / О. А. Жарких // Сборник студенческих научных работ. – 2018. – № 24. – С. 204-204.
306. Железова С. В. Урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя на дерново-подзолистой почве при длительном применении традиционной и ресурсосберегающей обработки / С. В. Железова, А. В. Мельников, А. И. Беленков // Кормопроизводство. – 2019. – № 10. – С. 14-19.
307. Жуков В. А. О некоторых проблемах агроклиматического обеспечения агропромышленного комплекса / В. А. Жуков // Труды ВНИИСХМ. – 1989. – № 24. – С. 6-17.

308. Завалин А. А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней / А. А. Завалин, О. А. Соколов. – М. : ВНИИА, 2016. – 591 с.
309. Завалин А. А. Развитие агрохимических исследований с изотопом ^{15}N в России / А. А. Завалин, О. А. Соколов, Н. Я. Шмырева // Плодородие. – 2021. – № 3. – С. 56-62.
310. Зайдельман Ф. Р. Глеобразование – глобальный почвообразовательный процесс. Теория процесса и практика применения / Ф. Р. Зайдельман. – Воронеж : Кварта, 2016. – 328 с.
311. Зайдельман Ф. Р. Деградация мелиорированных почв России и сопредельных стран в результате изменения их водного режима и способы защиты / Ф. Р. Зайдельман. – Воронеж : Кварта, 2014. – 269 с.
312. Зайцев Б. Д. Лес и почва / Б. Д. Зайцев. – М : Изд-во лесная промышленность, 1964. – 159 с.
313. Зайцев С. Ю. К вопросу об использовании льняной костры как кормовой добавки / С. Ю. Зайцев, И. И. Дмитриевская, С. Л. Белопухов // Доклады ТСХА. – 2016. – № 288(1). – С. 515-518.
314. Закон Кыргызской Республики от 19 июня 1997 года № 38 «О семенах».
315. Закон Республики Беларусь «О семеноводстве» (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 08.05.2013, 2/2018, 06.05.2013).
316. Закон Республики Казахстан от 8 февраля 2003 года N 385 «О семеноводстве».
317. Закономерности изменения мощности почвенных горизонтов под древостоями различного состава Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / В. Д. Наумов, Н. Л. Поветкина, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев // Известия ТСХА. – 2018. – № 1. – С. 18-35.
318. Защита овощных культур и картофеля от болезней / А. К. Ахатов, Ф. С. Джалилов, О. О. Белошапкина [и др.]. – М. : ГУП «Московская

типография N 2», 2006. – 352 с.

319. Защита растений. Фитопатология и энтомология. Учебник / О. О. Белошапкина, В. В. Гриценко, И. М. Митюшев, С. И. Чибаненко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2017. – 477 с.

320. Защита растений в питомнике и саду: Справочник / Л. А. Дорожкина, О. О. Белошапкина, И. М. Митюшев, А. Н. Неженец. – Казань, 2015. – 300 с.

321. Защита растений от вредителей: Учебник / Н. Н. Третьяков, В. В. Исаичев, Ю. А. Захваткин [и др.]; ред. Н. Н. Третьякова, В. В. Исаичева. – 2-е. – СПб. : Издательство «Лань», 2012. – 528 с.

322. Зейналов А. С. Современные тенденции изменения фитосанитарной обстановки, видового состава, численности и вредоносности фитофагов и патогенов в насаждениях плодовых и ягодных культур / А. С. Зейналов // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М., 2013. – Т. XXXVI. – С. 218-224.

323. Зонн С. В. Влияние леса на почву / С. В. Зонн. – М : Издательство Академии наук, 1954. – 160 с.

324. Зуева И. М. Симптомы парши яблони / И. М. Зуева // Защита и карантин растений. – 2000. – № 4. – С. 33.

325. Игнатов А. Н. Динамика видового состава патогенов картофеля в европейской части РФ / А. Н. Игнатов, Ю. С. Паньчева, М. В. Воронина // Картофель и овощи. – 2019. – № 9. – С. 28-32.

326. Изменение состава карбоновых кислот в липидах льна сорта Северный после обработки гербицидом – ингибитором ацетилкофермента А-карбоксилазы / Л. Б. Дмитриев, С. Л. Белопухов, В. Л. Дмитриева [и др.] // Доклады ТСХА. – 2015. – № 286(II). – С. 36-38.

327. Изучение влияния различных факторов на эффективность феромонного мониторинга яблонной плодовой жорки / И. М. Митюшев, Н. Н. Третьяков, Н. В. Вендило, В. А. Плетнев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. XXX. – С. 393-400.

328. Изучение образцов озимой тритикале на наличие хромосомных

- замещений и их связь с устойчивостью к прорастанию на корню / М. С. Баженов, М. Г. Дивашук, В. В. Пыльнев [и др.] // Известия ТСХА. – 2011. – № 2. – С. 20-25.
329. Изучение состава эфирного масла *Pogostemon Plectranthoides* с использованием метода хромато-масс-спектрометрии / Л. Б. Дмитриев, Г. А. Эсванджия, Н. А. Ключев, И. И. Грандберг // Известия ТСХА. – 1977. – № 5. – С. 204-208.
330. Изучение экзогенного влияния стимуляторов на обменные процессы терпеноидов мяты перечной / Л. О. Сушкова, Л. Б. Дмитриев, В. А. Литвинский, В. Л. Дмитриева // Перспективы лекарственного растениеводства. – М, 2018. – С. 64-69.
331. Инструкция по апробации маточных насаждений и посадочного материала плодовых, ягодных, цветочно-декоративных культур и винограда, утвержденной Минсельхозпродом России 10.01.94. .
332. Инструкция по апробации семеноводческих посевов овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. - М.: МСХ РФ, 2004. - 74 с.
333. Инструкция по апробации сортовых посевов. /М.: утверждена НТС Минсельхозпрода России 21.06.1994, протокол № 14. - М.: ВНИИТЭИ-агропром, 1996. 1-2 части.
334. Инструкция по апробации сортовых посевов (посадок) эфиромасличных культур, утверждена Минсельхозом России 5 июня 1980 г.
335. Инструкция по апробации сортовых посевов сельскохозяйственных культур/М. А. Кадыров, С. П. Халецкий, П. П. Васько и др. - Мн.:УП «ИВЦ Минфина», 2004.-154 с.
336. Инструментальные методы исследований объектов агросферы / С. Л. Белопухов, И. И. Дмитревская, О. В. Елисеева, А. В. Жевнеров. – М : ООО «Проспект», 2019. – 160 с.
337. Исаев А. А. Экологическая климатология / А. А. Исаев. – М. : Научный мир, 2003. – 472 с.

338. Исачкин А. В. Сортовой каталог. Плодовые культуры / А. В. Исачкин, Б. Н. Воробьев. – М. : ЭКСМО – Пресс, 2001. – 576 с.
339. Использование сканирующей электронной и конфокальной лазерной микроскопии для исследования ультраскульптуры и микобиоты поверхности плода *Malus Mill. (Rosaceae)* / Т. Х. Кумахова, О. О. Белошапкина, А. В. Бабоша, А. С. Рябченко // Сб. трудов XXV Российской конференции по электронной микроскопии. – Черногловка, 2014. – Т. 2. – С. 606-607.
340. Использование хромато-масс-спектрометрии для исследования состава эфирных масел / Н. А. Ключев, И. И. Грандберг, Л. Б. Дмитриев [и др.] // III симпозиум по актуальным вопросам изучения и использования эфиромасличных растений и эфирных масел. – Симферополь, 1980. – С. 231-231.
341. Использование яровой пшеницей азота почвы при внесении биомодифицированных аммиачной селитры и мочевины (исследования с ^{15}N) / А. А. Завалин, Л. С. Чернова, С. Н. Сапожников, В. А. Литвинский // Плодородие. – 2019. – № 3(108). – С. 14-16.
342. История развития агрохимических исследований в ВИУА. К 70-летию Всероссийского научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова / ред. Н. З. Милащенко, В. Ф. Ладонина. – М. : Агроконсалт, 2001. – 400 с.
343. К вопросу о применении регуляторов роста и развития растений гербицидного действия при возделывании *Mentha piperitha L* / В. Л. Дмитриева, Л. Б. Дмитриев, Л. О. Сушкова, С. Л. Белопухов // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы. – М : ООО «АР-Консалт», 2014. – С. 27-28.
344. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М : Мир, 1989. – 439 с.
345. Казак А. А. Урожайность и качество зерна среднеранних сортов яровой пшеницы в различных природно-климатических зонах Тюменской области / А. А. Казак // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 7(61). – С. 54-56.

346. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений. Учебник, практикум / Е. А. Калашникова. – М. : Юрайт, 2020. – 324 с.
347. Калашникова Е. А. Основы биотехнологии / Е. А. Калашникова, М. Ю. Чередниченко, Р. Н. Киракосян. – М. : КноРус, 2022. – 277 с.
348. Калашникова Е. А. Лабораторный практикум по культуре клеток и тканей / Е. А. Калашникова, М. Ю. Чередниченко, Р. Н. Киракосян. – М. : КноРус, 2017. – 163 с.
349. Карминов В. Н. Динамика почвенных свойств в связи с возрастом сосняков / В. Н. Карминов. – М, 2003. – 207 с.
350. Карпачевский Л. О. Динамика свойств почв / Л. О. Карпачевский. – М : ГЕОС, 1997. – 169 с.
351. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – М : Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
352. Карпачевский Л. О. Новые подходы к изучению лесных почв / Л. О. Карпачевский // Почвоведение. – 1999. – № 1. – С. 152-160.
353. Карпачевский Л. О. Общие закономерности почвообразования в лесной зоне / Л. О. Карпачевский, М. Н. Строганова // Почвообразование в лесных биогеоценозах. – М, 1989. – С. 5-12.
354. Каширская Н. Я. Системы защиты насаждений яблони от вредных организмов / Н. Я. Каширская, Е. М. Цуканова, А. М. Кочкина // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М., 2013. – Т. XXXVI. – С. 237-242.
355. Квалиметрический подход к оценке биосырья животного происхождения / Е. С. Белокурова, И. А. Панкина, Т. П. Луцко, А. В. Осипова // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2019. – № 1. – С. 220-223.
356. Кидин В. В. Влияние окультуренности и предшествующей удобренности на урожай ячменя и вынос ими азота / В. В. Кидин, Л. А. Иванникова // Известия ТСХА. – 1979. – № 5. – С. 190-194.
357. Кидин В. В. Влияние окультуренности почв на иммобилизацию

- меченного ^{15}N азота удобрений и доступность его растениям / В. В. Кидин, П. М. Смирнов, Л. А. Иванникова // Известия ТСХА. – 1979. – № 6. – С. 58-65.
358. Кинетика экстракции и реэкстракции фосфорной кислоты и примесных серной и плавиковой кислот на центробежном экстракторе / Н. Л. Багнавец, Г. Д. Клинский, Г. А. Кесоян, М. . Румянцев // Химическая технология. – 2003. – № 3. – С. 5-9.
359. Кириллов Р. Е. Устойчивость сортов груши к грибным заболеваниям в условиях ЦЧР России / Р. Е. Кириллов, В. В. Чивилев // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М., 2013. – Т. XXXVI. – С. 243-249.
360. Кирюшин Б. Д. Модификация длительных стационарных полевых опытов и их значение для научной агрономии и практического земледелия / Б. Д. Кирюшин // Известия ТСХА. – 2000. – № 1. – С. 11-22.
361. Кирюшин Б. Д. Роль длительных полевых экспериментов в агрономии и некоторые особенности их проведения / Б. Д. Кирюшин // Известия ТСХА. – 1999. – № 11. – С. 15-26.
362. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
363. Классификация и диагностика почв СССР / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова [и др.]. – М : Колос, 1977. – 223 с.
364. Князев В. Н. Кафедра органической химии МСХА – 130 лет / В. Н. Князев, Н. М. Пржевальский // Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии. – М : Изд. МСХА, 2004. – С. 69-76.
365. Ковда В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В. А. Ковда. – М : Наука, 1981. – 184 с.
366. Колесова Д. А. Атлас вредителей и болезней яблони и груши. Меры борьбы / Д. А. Колесова, П. Г. Чмырь. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2006. – 91 с.
367. Колычихина М. С. Положительное влияние препаратов с противовирусной

- активностью на продуктивность картофеля / М. С. Колычихина // Сборник статей всероссийской научной конференции с международным участием "Растениеводство и луговодство. – М. : РГАУ-МСХА, 2020. – С. 501-506.
368. Колычихина М. С. Амулет, иммуноцитифит, фармайод и экогель в защите картофеля от вирусов / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона: коллективная монография. – Суздаль, Иваново : Престо, 2018. – Т. 2. – С. 69-72.
369. Колычихина М. С. Защита картофеля от вирусов в полевых условиях / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Картофель и овощи. – 2017. – № 8. – С. 27-30.
370. Комаров Н. М. Некоторые аспекты организации селекции и семеноводства тритикале в связи с его генеративной системой / Н. М. Комаров, Н. И. Соколенко // Тритикале России. – 2000. – С. 80-84.
371. Комарова Е. А. Особенности морфолого-анатомического строения стебля тритикале в связи с устойчивостью к полеганию. Т. Ч.2 / Е. А. Комарова, В. В. Пыльнев, В. С. Рубец. – Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2007. – 12-17 с.
372. Компонентный состав эфирного масла *Plectranthus amboinicus* (Lamiaceae) в условиях закрытого грунта / В. Л. Дмитриева, А. Н. Цицилин, Л. Б. Дмитриев, Е. А. Мотина // Растительные ресурсы. – 2010. – Т. 46. – № 4. – С. 65-67.
373. Компонентный состав эфирных масел базиликов эвгенольного типа / В. А. Замуреенко, Л. Б. Дмитриев, Н. А. Ключев [и др.] // Известия ТСХА. – 1986. – № 2. – С. 172-175.
374. Кондратьев М. Н. Взаимосвязи и взаимоотношения в растительных сообществах / М. Н. Кондратьев, Г. А. Карпова, Ю. С. Ларикова. – М. : РГАУ-МСХА, 2014. – 299 с.
375. Кондратьев М. Н. Роль аллелопатии в инвазии растительных видов (обзор) / М. Н. Кондратьев, Ю. С. Ларикова // Известия ТСХА. – 2018. – № 2.

– С. 48-61.

376. Кондратьев М. Н. Вторичные соединения лекарственных растений как потенциальная основа для создания биогербицидов / М. Н. Кондратьев, Ю. С. Ларикова, А. Н. Давыдова // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2017. – Т. 20. – № 5. – С. 36-40.

377. Кондратьев М. Н. Аллелопатический потенциал люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) во взаимодействии с другими сельскохозяйственными культурами / М. Н. Кондратьев, Ю. С. Ларикова, О. С. Демина // Известия ТСХА. – 2016. – № 4. – С. 27-40.

378. Коновалов Ю. Б. Слабоветвящийся индуцированный мутант люпина узколистного / Ю. Б. Коновалов, Н. А. Клочко, Н. Ф. Аникеева // Известия ТСХА. – 1985. – № 4.

379. Коновалов Ю. Б. Характер изменчивости элементов продуктивности у растений люпина узколистного при различных нормах посева / Ю. Б. Коновалов, Н. А. Клочко, Н. Ф. Аникеева // Известия ТСХА. – 1989. – № 5.

380. Контроль качества продукции растениеводства при хранении и переработке. Методы анализа серы в биологических образцах / С. . Белопухов, И. И. Дмитриевская, В. А. Антошин [и др.]. – М : РГАУ-МСХА, 2015. – 188 с.

381. Копусь М. М. Качество зерна тритикале как сырья для производства биоэтанола на юге России / М. М. Копусь, Е. М. Копусь, А. А. Парапонов // Материалы международной практической конференции «Роль тритикале в стабилизации и увеличении производства зерна и кормов» и секции тритикале отделения растениеводства РАСХН. – Ростов-на-Дону : ДЗНИИСХ, 2010. – С. 238-241.

382. Коткова Л. И. Роль разноглубинной заделки сидерата и соломы в повышении плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивности зернопропашного севооборота в условиях ЦР НЧЗ / Л. И. Коткова. – М. : автореф. дисс. ... к. с.-х. н.: 06.01.01, 2016. – 23 с.

383. Кулаева О. Н. Новейшие достижения в изучении механизма действия

- фитогормонов / О. Н. Кулаева, О. С. Прокопцева // Биохимия. – 2004. – Т. 69. – № 3. – С. 293-310.
384. Лапушкин В. М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором / В. М. Лапушкин, В. А. Нестеренко // Плодородие. – 2019. – № 3(108). – С. 19-21.
385. Ларикова Ю. С. Современные представления об эколого-физиологической роли корневых экссудатов растений (обзорная статья) / Ю. С. Ларикова, О. Г. Волобуева // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 4(40). – С. 93-101.
386. Лебедева И. И. Память генетических горизонтов и почвенного профиля / И. И. Лебедева, В. Д. Тонконогов // Память почв. – М : ЛКИ, 2008. – С. 162-180.
387. Листостебельный комплекс фитопатогенных и сопутствующих грибов на картофеле в различных регионах России / А. Н. Смирнов, Т. С. Бибик, Е. С. Приходько [и др.] // Известия ТСХА. – 2015. – № 3. – С. 36-45.
388. Лозовицкий П. С. Изменение свойств темно-каштановой почвы в условиях длительного орошения на Каховской оросительной системе / П. С. Лозовицкий // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 620-633.
389. Лозовицкий П. С. Мониторинг гумусового состояния почв Ингулецкой оросительной системы / П. С. Лозовицкий // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 336-349.
390. Лосев К. С. Климат вчера, сегодня ... и завтра? / К. С. Лосев. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 176 с.
391. Лукина Н. В. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность / Н. В. Лукина, М. А. Орлова, Л. Г. Исаева // Лесоведение. – 2010. – № 5. – С. 45-56.
392. Лукьянов В. Б. Измерение и идентификация бета-радиоактивных препаратов / В. Б. Лукьянов. – М. : Госатомиздат, 1963. – 168 с.
393. Луцко Т. П. Биохимическая оценка некоторых показателей сорбции

тяжелых металлов минералом вермикулит / Т. П. Луцко, А. В. Осипова // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2019. – № 4. – С. 136-137.

394. Луцко Т. П. Изучение возможности применения сорбентов на основе вермикулита для концентрирования Cu(II) из объектов гидросферы / Т. П. Луцко, А. В. Осипова, Д. А. Скворцов // Конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУВМ. – 2021. – С. 61-63.

395. Луцко Т. П. Изучение процесса сорбции алюминия природным минералом вермикулит / Т. П. Луцко, А. В. Осипова, Д. А. Скворцов // Неделя науки СПбПУ: Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий. – СПб : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – С. 257-259.

396. Луцко Т. П. Имобилизованный вермикулит как сорбент железа(III) в природных водах / Т. П. Луцко, А. В. Осипова, Д. А. Скворцов // Конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. – СПб : Изд-во ФГБОУ ВО СПбГАВМ, 2019. – С. 41-42.

397. Луцко Т. П. Применение вермикулита для изучения некоторых параметров сорбции Cu(II) в условиях эколого-аналитического мониторинга / Т. П. Луцко, А. В. Осипова, Д. А. Скворцов // Конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. – 2020. – С. 63-65.

398. Луцко Т. П. Особенности концентрирования некоторых тяжелых металлов сорбентами на основе из объектов гидросферы / Т. П. Луцко, А. В. Осипова, Д. В. Скворцов // Теория и практика ветеринарной фармации, экологии и токсикологии в АПК. – СПб, 2021. – С. 151-153.

399. Луцко Т. П. Определение показателей сорбции ионов железа (III) природным минералом вермикулит / Т. П. Луцко, Е. М. Смирнова, А. В. Осипова // Неделя науки СПбПУ: Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 181-183.

400. Луцко Т. П. Сравнительное изучение сорбционных свойств природного минерала вермикулита по отношению к ионам железа (III) / Т. П. Луцко, Е. М. Смирнова, А. В. Осипова // Конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. – СПб : Изд-во ФГБОУ ВО СПбГАВМ, 2018. – С. 67-69.
401. Лыков А. М. Характеристика гуминовых кислот интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы / А. М. Лыков, В. А. Черников, С. М. Вьюгин // Известия ТСХА. – 1975. – № 2. – С. 100-105.
402. Мазиров М. А. Длительный полевой опыт РГАУ-МСХА: сущность и этапы развития / М. А. Мазиров, А. Ф. Сафонов // Известия ТСХА. – 2010. – № 2. – С. 66-75.
403. Макаров В. И. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при детальном внесении азотных удобрений / В. И. Макаров, Ф. И. Грязина, Г. И. Чендемерова // Зерновые культуры. – 1998. – № 5. – С. 18-19.
404. Маланкина Е. Л. Чабер садовый – перспективное сырье / Е. Л. Маланкина, Н. Г. Романова, С. Г. Солопов // Картофель и овощи. – 2018. – № 11. – С. 25-27.
405. Малько А. М. Научно-практические основы контроля качества и сертификации семян в условиях рыночной экономики / А. М. Малько. – М. : Изд-во ИКАР, 2005. – 288 с.
406. Малько А. М. Некоторые итоги выполнения программы национальной стандартизации в семеноводстве России / А. М. Малько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3(54). – С. 145-149.
407. Малько А. М. Контроль качества и сертификация семенного картофеля: практическое руководство / А. М. Малько, Б. В. Анисимов, Н. В. Трофимов. – М. : Росинформагротех, 2003. – 316 с.
408. Малько А. М. Мониторинг вирусных инфекций картофеля с использованием матричной ПЦР-диагностики / А. М. Малько, А. В. Живых, М. М. Никитин // Картофель и овощи. – 2017. – № 12. – С. 26-29.
409. Мамонтов В. Г. Орошаемые черноземы и каштановые почвы: состав,

- свойства, процессы трансформации / В. Г. Мамонтов. – М : РГАУ-МСХА, 2013. – 290 с.
410. Матюк Н. С. Роль азотных подкормок в повышении плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивности севооборотов / Н. С. Матюк, Н. В. Малахов // Доклады ТСХА. – 2017. – Т. 289. – С. 16-18.
411. Матюк Н. С. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии / Н. С. Матюк, В. Д. Полин. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 222 с.
412. Матюк Н. С. Эффективность длительного применения удобрений и извести при возделывании полевых культур в бессменных посевах и севообороте: в кн. Длительному полевому опыту ТСХА 100 лет: итоги научных исследований / Н. С. Матюк, В. Д. Полин; ред. А. Ф. Сафонов. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 90-105 с.
413. Махоткин А. Г. Технология мониторинга и сигнализации обработок против яблонной плодовой гнили, калифорнийской щитовки и парши в Приазовье / А. Г. Махоткин, В. А. Павлюшин. – СПб., 2002. – 51 с.
414. Методика грунтового контроля. - Утверждено приказом ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» РБ от 27.02.2015, № 29.
415. Методика оценки активности симбиотической азотфиксации селекционного материала зернобобовых культур ацетиленовым методом / В. П. Орлов, И. Ф. Орлова, Е. А. Щербина [и др.]. – Орел : ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, 1984. – 15 с.
416. Методические рекомендации по определению сортовых качеств семян в полевых условиях» - М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2006. - 224 с.
417. Методические указания по комплексному агрохимическому окультуриванию полей. – М. : Агропромиздат, 1985. – 20 с.
418. Микроэлемент селен: роль в процессах жизнедеятельности / И. В. Гмошинский, В. К. Мазо, В. А. Тутельян, С. А. Хотимченко // Экология моря. – 2000. – № 54. – С. 5-19.

419. Микроэлементозы человека / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш, Л. С. Строчкова. – М : Медицина, 1991. – 496 с.
420. Минашина Н. Г. Оросительные воды с повышенным содержанием магния и их роль в деградации черноземов на юго-востоке Европы / Н. Г. Минашина // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 564-571.
421. Минашина Н. Г. Проблемы орошения почв степей юга России и возможности их решения (на основе анализа производственного опыта 1950-1990 гг.) / Н. Г. Минашина // Почвоведение. – 2009. – № 7. – С. 865-874.
422. Минеев В. Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века / В. Г. Минеев. – М. : Изд-во МГУ, 2006. – 795 с.
423. Минашина Т. Н. Лабильные формы гумуса в дерново-подзолистой почве различной степени окультуренности [На фоне внесения органических удобрений] / Т. Н. Минашина // Почвенно-агрохимические аспекты управления продуктивностью агроценозов. – 1992. – С. 45-51.
424. Митюшев И. М. Интегрированные системы защиты растений: феромоны насекомых: Учебное пособие для академического бакалавриата / И. М. Митюшев. – М. : «Издательство ЮРАЙТ», 2019. – 119 с.
425. Митюшев И. М. Особенности применения синтетических половых феромонов для мониторинга яблонной плодовой жорки в условиях центра России / И. М. Митюшев // Главный агроном. – 2007. – № 5. – С. 19-21.
426. Митюшев И. М. Полевой скрининг феромонных препаратов садовых листоверток / И. М. Митюшев // Плодоводство и ягодоводство России. – М., 2014. – Т. XXXIX. – С. 143-146.
427. Митюшев И. М. Феромоны насекомых и их применение в защите растений: Учебное пособие / И. М. Митюшев. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 124 с.
428. Митюшев И. М. Эффективность мониторинга яблонной и сливовой плодовой жорки в зависимости от состава феромонных диспенсеров и типа ловушек / И. М. Митюшев, Н. В. Вендило, В. А. Плетнев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2013. – Т. XXXVI. – № 2. – С. 41-47.

429. Митюшев И. М. Эффективность мониторинга яблонной и сливовой плодоярков в зависимости от состава феромонных диспенсеров и типа ловушек / И. М. Митюшев, Н. В. Вендило, В. А. Плетнев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2013. – Т. 32. – № 2. – С. 41-47.
430. Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур / В. А. Моисейчик. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 298 с.
431. Морфофункциональная характеристика листьев и плодов Maloideae (Rosaceae): б). Роль поверхностных тканей в формировании устойчивости к грибным болезням / Т. Х. Кумахова, О. О. Белошапкина, А. С. Воронков, А. С. Рябченко // Труды прикладной ботаники, генетики и селекции. – 2019. – Т. 180. – С. 27-34.
432. Мосиенко Н. А. Водный режим каштановых почв Заволжья / Н. А. Мосиенко, Л. Н. Чумакова // Почвоведение. – 1990. – № 4. – С. 60-65.
433. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: Учебное пособие / В. И. Балабанов, С. В. Железнова, Е. В. Березовский [и др.]. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 148 с.
434. Накопление селена овощными культурами и яровым рапсом при удобрении селеном / С. П. Торшин, Б. А. Ягодин, Т. М. Удельнова, И. Ю. Забродина // Агрохимия. – 1995. – № 9. – С. 40-47.
435. Налиухин А. Н. 80 лет Географической сети опытов с удобрениями / А. Н. Налиухин // Плодородие. – 2021. – № 3. – С. 6-8.
436. Насроллахнеджад С. К вопросу о распространенности и вредоносности вирусов картофеля / С. Насроллахнеджад, О. О. Белошапкина, Н. Д. Романенко // Сборник научных трудов Культурные растения для устойчивого сельского хоз. в XXI веке. – М. : РАСХН, 2002. – С. 294-304.
437. Насроллахнеджад С. Вредоносность моно- и смешанных вирусных инфекций и экологически безопасные способы их контроля / С. Насроллахнеджад, Н. Д. Романенко, О. О. Белошапкина // Материалы докладов научной конференции Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями (зоонозы). – М., 2002. – С. 216-217.

438. Насроллахнеджад С. Изучение ассоциаций вирусов в семенном материале картофеля / С. Насроллахнеджад, Н. Д. Романенко, О. О. Белошапкина // Тезисы докладов конференции Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – М., 2001. – С. 167-169.
439. Наумов В. Д. 145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / В. Д. Наумов, А. Н. Поляков. – М : Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. – 511 с.
440. Наумов В. Д. Итоги экспериментальных работ на Лесной опытной даче РГАУ — МСХА им. К. А. Тимирязева / В. Д. Наумов, А. Н. Поляков, Н. Л. Каменных. – М : Ай Пи Ар Медиа, 2020. – 766 с.
441. Научно-практические приемы совершенствования обработки почвы в современных адаптивно-ландшафтных системах земледелия: монография / А. И. Беленков, В. А. Шевченко, Т. А. Трофимова, В. П. Шачнев. – М. : Инфра-М, 2019. – 279 с.
442. Национальный стандарт Российской Федерации – ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Издание официальное. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2005. – 19 с.
443. Нестеренко В. А. Влияние обеспеченности почв подвижным фосфором и доз азотных удобрений на формирование урожая и качество яровой пшеницы / В. А. Нестеренко, В. М. Лапушкин // Агрехимический вестник. – 2021. – № 1. – С. 38-42.
444. Нестерова Е. И. Дозы азотных удобрений для различных культур / Е. И. Нестерова // Азот в земледелии нечерноземной полосы. – М. : Колос, 1973. – С. 239-258.
445. Николаев В. А. Регулирование фитосанитарного состояния посевов зерновых культур на полигоне Точного земледелия / В. А. Николаев, А. И. Беленков, И. И. Дмитриевская // Вестник Алтайского ГАУ. – 2017. – № 2(148). – С. 5-10.
446. Новиков Н. Н. Биохимические основы формирования качества

- продукции растениеводства / Н. Н. Новиков. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. – 194 с.
447. Новиков Н. Н. Биохимия растений / Н. Н. Новиков. – Москва : КолосС, 2012. – 679 с.
448. Новиков Н. Н. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы / Н. Н. Новиков // Известия ТСХА. – 2017. – № 5. – С. 29-40.
449. Новиков Н. Н. Формирование урожая и качества зерна хлебопекарной пшеницы при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / Н. Н. Новиков // Известия ТСХА. – 2010. – № 1. – С. 59-72.
450. Новиков Н. Н. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве / Н. Н. Новиков, Н. Е. Соловьева // Агрохимия. – 2019. – № 2. – С. 43-51.
451. Нормативно-правовые основы селекции и семеноводства / А. Н. Березкин, А. М. Малько, Е. Л. Минина [и др.]. – СПб. : Лань, 2016. – 252 с.
452. Нормативы для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях. – М. : МСХ СССР, 1985. – 336 с.
453. Нормативы оценки урожайности зерновых культур, сахарной свеклы, льна-долгунца, картофеля и эффективность удобрений на основных почвах России. – М. : ЦИНАО, 2000. – 72 с.
454. О новой энергосберегающей технологии приготовления корма для животных, птиц и ры / В. А. Авроров, Г. Д. Лузгин, Г. В. Авроров, М. А. Польшяева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 1(29). – С. 75-79.
455. Орлова. Л.В. Научно-практическое руководство по освоению и применению сберегающего земледелия. Рекомендации / Орлова. Л.В., Н. Д. Чернов. – 3-е изд., доп. – М. : Евротехника, 2006. – 183 с.
456. Осипова А. В. Определение содержания катионов Cu^{2+} , Fe^{2+} и NH_4^+ в

снежном покрове / А. В. Осипова, И. А. Махнин // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии. – Омск, 2019. – С. 503-506.

457. Особенности аллелопатического взаимодействия редиса с культурными и сорными растениями / А. А. Анисимов, М. С. Медведков, И. З. Шаталов, А. Н. Скороходова // Доклады ТСХА. – М. : РГАУ-МСХА, 2021. – С. 31-33.

458. Особенности мониторинга яблонной плодовой жорки в садах Московской области / В. Н. Корчагин, Н. Н. Третьяков, А. В. Белолипецкий, И. М. Митюшев // Известия ТСХА. – 2005. – № 4. – С. 68-73.

459. Особенности ультраскульптуры и микобиоты поверхности плодов яблони при созревании и хранении / Т. Х. Кумахова, О. О. Белошапкина, А. В. Бабоша, А. С. Рябченко // Известия ТСХА. – 2014. – № 3. – С. 51-69.

460. Отечественные феромонные препараты для мониторинга яблонной плодовой жорки / Н. Н. Третьяков, И. М. Митюшев, Н. В. Вендило, В. А. Плетнев // Защита и карантин растений. – 2006. – № 3. – С. 65.

461. Оценка инфицированности различных сортов картофеля непо- и тобравирисами и изучение их ассоциаций с комплексом других вирусов / Н. Д. Романенко, М. А. Келдыш, О. Н. Червякова [и др.] // Тезисы IV Международного нематологического симпозиума. – М., 2001. – С. 141-142.

462. Оценка устойчивости образцов коллекции озимой тритикале к прорастанию на корню / Т. Т. Л. Нгуен, О. В. Митрошина, В. В. Пыльнев, В. С. Рубец // Известия ТСХА. – 2011. – № 1. – С. 71-84.

463. Оценка эффективности отборов по продолжительности покоя семян озимой тритикале / Ю. Н. Котенко, В. С. Рубец, В. А. Коробкова [и др.] // Бюллетень ГНБС. – 2019. – № 132. – С. 108-114.

464. Панкова Е. И. Критический анализ истории развития орошения в Советском Союзе / Е. И. Панкова // Почвоведение. – 2008. – № 9. – С. 1138-1140.

465. Панов Н. П. Почвенные процессы в орошаемых черноземах и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации / Н. П. Панов,

- В. Г. Мамонтов. – М : Россельхозакадемия, 2001. – 253 с.
466. Паутов А. А. Строение и функции перистоматических колец в эпидерме листа цветковых растений / А. А. Паутов, О. В. Яковлева, Ю. О. Сапач // Материалы XII съезда РБО «Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века». – Петрозаводск, 2008. – С. 67-69.
467. Педагогические условия формирования компетенции по определению содержания пестицидов в сельскохозяйственной продукции / М. В. Григорьева, С. Л. Белопухов, И. И. Дмитриевская, Н. Л. Багнавец // Международный научный журнал. – 2021. – № 3. – С. 112-124.
468. Первые полевые испытания феромонных препаратов российского производства для мониторинга и борьбы с коричнево-мраморным клопом *Halymorpha halys* Stål / Е. В. Сеницына, В. Е. Проценко, Н. Н. Карпун [и др.] // Известия ТСХА. – 2019. – № 3. – С. 60-79.
469. Пильгунова М. Ю. Особенности гумусного состояния орошаемых южных черноземов / М. Ю. Пильгунова, Е. Е. Григорьева // Почвоведение. – 1983. – С. 22-29.
470. Пискунова Х. А. Влияние азотного удобрения на урожайность и качество продовольственного зерна яровой пшеницы / Х. А. Пискунова, А. В. Федорова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 3. – С. 14-17.
471. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М. : Колос, 1985. – 255 с.
472. Полевой А. Н. Сельскохозяйственная метеорология / А. Н. Полевой. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 424 с.
473. Половинкина Е. О. Окислительный стресс и особенности воздействия слабых стрессоров физической природы на перекисный гомеостаз растительной клетки. Учебно-методическое пособие / Е. О. Половинкина, Ю. В. Сеницына. – Нижний Новгород : Нижегородский университет, 2010. – 62 с.
474. Положение о порядке проведения апробации сельскохозяйственных растений, утвержденное Пост.Совета Министров Республики Беларусь от

08.11.2013, № 961. .

475. Положение по сертификации семян зерновых культур в Кыргызской Республике. – Утв. Пост. Правительства Кыргызской Республики от 5 января 2002 г., № 6. .

476. Получение кормовых добавок методом комплексной обработки сырья с повышенным содержанием клетчатки и лигнина / С. В. Антимонов, Р. Ф. Сагитов, А. С. Кириленко, С. К. Мустафаев // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 2-3. – С. 45-47.

477. Поляков А. Н. 135 лет Лесной опытной даче ТСХА. Т. 5 / А. Н. Поляков. – М : ВНИИлесхоз, 1993. – 76 с.

478. Пома Н. Г. Урожайность и качество зерна различных сортов озимой тритикале при разных условиях азотного питания / Н. Г. Пома, В. В. Осипов // Сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 80-летию Московского НИИСХ «Немчиновка». – М. : ООО «НИПКЦ Восход-А», 2012. – С. 99-104.

479. Порохиевич Н. В. Биологическая роль и практическое применение микроэлементов / Н. В. Порохиевич // VII Всесоюзн. конф. – Рига : Зинатне, 1975. – С. 59-59.

480. Посыпанов Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г. С. Посыпанов. – М. : Агропромиздат, 1991. – 300 с.

481. Правила функционирования системы добровольной сертификации «Россельхозцентр». Порядок применения знака соответствия. – М. : Россельхозцентр, 2015.

482. Предуборочная обработка гербицидами растений *Mentha piperita* L. сорта Янтарная / Л. О. Сушкова, В. Л. Дмитриева, Л. Б. Дмитриев, С. Л. Белопухов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2016. – № 12. – С. 151-154.

483. Преобразование минералогического состава черноземов южных юго-запада Украины при орошении / Н. П. Чижикова, С. П. Позняк, Б. П. Градусов, И. Н. Гоголев // Почвоведение. – 1992. – № 8. – С. 77-87.

484. Пржевальский Н. М. 150 лет со дня рождения академика НЯ Демьянова (1861-1938) / Н. М. Пржевальский // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1. – С. 193-196.
485. Пржевальский Н. М. Кафедра органической химии / Н. М. Пржевальский // Агрехимический вестник. – 2009. – № 1. – С. 17-18.
486. Прилипатель для пестицидов для предпосевной обработки семян белого люпина. №2546282 (2013) / С. Л. Белопухов, Е. А. Гришина, А. С. Цыгуткин, И. И. Дмитриевская. – 2015.
487. Применение БИК-анализа для исследования химического состава и энергетической ценности льняной костры / С. Л. Белопухов, И. И. Дмитриевская, Е. В. Калабашкина, С. Ю. Зайцев // Бутлеровские сообщения. – 2014. – Т. 38. – № 5. – С. 112-117.
488. Приходько Е. С. Элементы микобиоты надземных побегов и клубней увядающего картофеля / Е. С. Приходько, О. О. Белошапкина, А. Н. Смирнов // Материалы III международного микологического форума «Современная микология в России». – М. : Нац. академия микол., 2015. – С. 38-39.
489. Продуктивность и качество яровой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания при выращивании на дерново-подзолистой почве / В. М. Лапушкин, М. А. Волкова, А. А. Лапушкина, О. А. Муравьева // Агрехимический вестник. – 2022. – № 3. – С. 17-22.
490. Производство минеральных удобрений / А. С. Малявин, С. В. Миносьянц, К. В. Аксенчик, В. М. Лапушкин // Энциклопедия технологий 2.0 : Химический комплекс. – М., СПб. : Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», 2022. – С. 11-88.
491. Протасова Н. А. Тяжёлые металлы в чернозёмах и культурных растениях Воронежской области / Н. А. Протасова // Агрехимия. – 2005. – № 2. – С. 80-86.
492. Прянишников Д. Н. Об удобрении полей и севооборотах: Избранные статьи / Д. Н. Прянишников. – М. : Сельхозгиз, 1962. – 263 с.
493. Пузина Т. И. Влияние почвенной засухи на гормональную и

антиоксидантную систему *Solanum tuberosum* в зависимости от обработки селенитом / Т. И. Пузина, М. А. Цуканова // Ученые записки Орловского ГУ. – 2008. – № 2. – С. 51-56.

494. Развитие агрохимии в России (к 70-летию ВАСХНИЛ-РАСХН) / ред. Н. З. Милащенко. – М. : ВИУА, 1999. – 63 с.

495. Разработка хромато-масс-спектрометрического метода анализа эфирных масел / И. И. Грандберг, Л. Б. Дмитриев, В. А. Замуреенко, Н. А. Ключев // IV Всесоюзная конференция по анализу химических органических соединений. – М : Изд-во МГУ, 1980. – С. 42-42.

496. Реакция растений кукурузы и мискантуса на условия пониженной температуры / Н. К. Фаттахова, А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Доклады ТСХА. – М. : РГАУ-МСХА, 2016. – С. 76-78.

497. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. – М. : ВНИИА, 2016. – 115 с.

498. Регуляция соотношения компонентов эфирного масла *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Nutt. в условиях Нечернозёмной зоны России / В. Л. Дмитриева, Л. О. Сушкова, Л. Б. Дмитриев, С. Л. Белопухов // Перспективы лекарственного растениеводства. – М : ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», 2018. – С. 87-92.

499. Ремезов Н. Г. О роли леса в почвообразовании / Н. Г. Ремезов // Почвоведение. – 1953. – № 12.

500. Решетник Л. А. Селен и здоровье человека (обзор литературы) / Л. А. Решетник, Е. О. Парфенова // Экология моря. – 2000. – № 54. – С. 20-25.

501. Ринькис В. Я. Макро- и микроэлементы в минеральном питании растений / В. Я. Ринькис. – Рига : Зинатне, 1979. – 112 с.

502. Риш М. А. Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях / М. А. Риш // Всесоюзный симпозиум. – Киев : Наукова Думка, 1987. – С. 184-184.

503. Роева Н. Н. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах / Н. Н. Роева, Ф. Я. Ровинский, Э. Я. Кононов

- // Журнал аналитической химии. – 1996. – Т. 51. – № 4. – С. 384-397.
504. Розанов Б. Г. Морфология почв: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности и направлению «Почвоведение» и др. естественно-науч. специальностям / Б. Г. Розанов. – М : Акад. Проект, 2004. – 432 с.
505. Розанов Б. Г. Орошаемые черноземы / Б. Г. Розанов, Е. М. Самойлова, С. А. Николаева; ред. Б. Г. Розанов. – М : МГУ, 1989. – 240 с.
506. Роль экссудатов семян и корней во взаимодействиях между растениями разных видов в ценозе / М. Н. Кондратьев, Ю. С. Ларикина, О. С. Демина, А. Н. Скороходова // Известия ТСХА. – 2020. – № 2. – С. 40-53.
507. Романенко Н. Д. Выявление комплексных нематодных и вирусных инфекций и оценка их вредоносности на картофеле в условиях фитоценозов Москвы и Московской области / Н. Д. Романенко, О. О. Белошапкина, С. Насроллахнеджад // Паразитические нематоды растений и насекомых. – М. : Наука, 2004. – С. 171-182.
508. Романенко Н. Д. Изучение вирусных и нематодных инфекций картофеля и разработка современных методов их диагностики / Н. Д. Романенко, О. О. Белошапкина, И. О. Попов // Материалы докладов научной конференции РАСХН Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. Вып. 6. – М., 2005. – С. 295-298.
509. Рубец В. С. Система селекционной оценки устойчивости озимой тритикале к прорастанию на корню / В. С. Рубец, Т. Т. Л. Нгуен, В. В. Пылтнев // Известия ТСХА. – 2012. – № 1. – С. 132-141.
510. Рубец В. С. Особенности опыления сортов гексаплоидной озимой тритикале / В. С. Рубец, Е. А. Никитина, В. В. Пылтнев // АГРО XXI. – 2011. – № 7. – С. 11-13.
511. Рубец В. С. О покое и предуборочном прорастании зерна в колосе озимой гексаплоидной тритикале / В. С. Рубец, В. В. Пылтнев, Л. В. Кондрашина // Вавиловские чтения-2011: Материалы Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2011. – С. 60-63.

512. Рубец В. С. Некоторые результаты изучения прогамной фазы оплодотворения озимой гексаплоидной тритикале / В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, О. В. Митрошина // Материалы Международной научно-практической конференции «Тритикале и его роль в условиях нарастания аридности климата» и секции тритикале Отделения растениеводства РАСХН. – Ростов-на-Дону, 2012. – С. 87-91.
513. Рубец В. С. Результаты изучения спонтанного перекрестного опыления озимой гексаплоидной тритикале / В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, О. В. Митрошина // Известия ТСХА. – 2012. – № 2. – С. 162-164.
514. Рубец В. С. Сравнительное изучение различных методов оценки устойчивости к прорастанию на корню озимой тритикале / В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, Т. Т. Л. Нгуен // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль тритикале в стабилизации и увеличении производства зерна и кормов» и секции тритикале Отделения растениеводства РАСХН. – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 146-150.
515. Рубец В. С. Особенности наследования элементов продуктивности растений при внутривидовой гибридизации озимой гексаплоидной тритикале / В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, И. Н. Панфилова // Материалы Международной научно-практической конференции «Тритикале и его роль в условиях нарастания аридности климата» и секции тритикале Отделения растениеводства РАСХН. – Ростов-на-Дону, 2012. – С. 92-98.
516. Рубец В. С. Некоторые результаты оценки дальности переноса пыльцы ветром озимой гексаплоидной тритикале в ЦРНЗ / В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, В. П. Штенцель // Современные тенденции в образовании и науке: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 дек. 2012 г.: в 10 частях. Часть 4; Министерство образования и науки РФ. – Тамбов : ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 123-125.
517. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 309 с.

518. Рысков Я. Г. Роль орошения в современной эволюции террасовых черноземов Нижнего Дона / Я. Г. Рысков, А. Ф. Гуров // Почвоведение. – 1987. – № 12. – С. 81-88.
519. Рябчинская Т. А. Биофунгициды и регуляторы роста растений в защите яблони от парши / Т. А. Рябчинская // Вестник защиты растений. – 2002. – № 4. – С. 21-23.
520. Ряховский А. В. Содержание белка в зерне яровой и озимой пшеницы в зависимости от уровня и характера минерального питания / А. В. Ряховский // Агрохимия. – 1995. – № 1. – С. 11-19.
521. Салихов М. М. Сорты и агротехника плодовых и ягодных культур для севера России. Каталог сортов плодовых и ягодных культур, выращиваемых в СХПК (Племзавод Майский) / М. М. Салихов, М. В. Салихова, Т. Б. Сумарокова. – Вологда, 2011. – 160 с.
522. Сборник нормативной документации системы добровольной сертификации «Россельхозцентра» / ред. А. М. Малько. – М. : Россельхозцентр, 2010. – 84 с.
523. Свойства почвы, продуктивность и состав дубово-еловых искусственных насаждений / А. В. Юренин, И. В. Соколовский, М. В. Герасименко, Д. Л. Микулич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2010. – № 1. – С. 222-224.
524. Связь параметров анатомического строения колосового стержня тритикале с продуктивностью колоса / Е. А. Комарова, В. В. Пыльнев, В. С. Рубец, Е. В. Тихонова // Материалы Международной научно-практической конференции «Селекция и семеноводство озимых хлебов – результаты, методы, проблемы и пути их решения». – Ульяновск, 2007. – С. 124-129.
525. Седов Е. Н. Селекция и сортимент яблони для Центральных регионов России / Е. Н. Седов. – Орел : ВНИИСПК, 2005. – 312 с.
526. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат.сб. – М. : Росстат, 2021. – 100 с.

527. Серегина И. И. Гормональный баланс растений на ранних этапах развития в зависимости от условий водообеспечения / И. И. Серегина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2007. – № 4. – С. 30-34.
528. Серегина И. И. Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе / И. И. Серегина. – Москва : Проспект, 2018. – 208 с.
529. Серегина И. И. Защитно-стимулирующая роль микроэлементов и регуляторов роста в растениеводстве / И. И. Серегина, С. Л. Белопухов. – Москва : Проспект, 2021. – 184 с.
530. Серегина И. И. Влияние селена на качество зерна яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения / И. И. Серегина, И. Г. Макарская // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук. – Челябинск, 2021. – С. 215-221.
531. Сидоренко О. Д. Биологические системы в переработке вторичных продуктов и отходов АПК / О. Д. Сидоренко. – М. : Инфра-М, 2021. – 207 с.
532. Сидоренко О. Д. Микробиологические основы природной закваски молока / О. Д. Сидоренко. – 2-е. – М. : Инфра-М, 2022. – 230 с.
533. Сидоренко О. Д. Техническая микробиология продукции животноводства / О. Д. Сидоренко, Е. В. Жукова. – 2-е. – М. : Инфра-М, 2021. – 224 с.
534. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник / А. В. Сикан. – СПб. : Изд-во РГГМУ, 2007. – 279 с.
535. Симонова В. В. Методы утилизации технических лигнинов / В. В. Симонова, Т. Г. Шендрик, Б. Н. Кузнецов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 340-354.
536. Система оценки влияния агрохимических факторов на формирование урожайности льна-долгунца / В. Г. Сычев, С. А. Шафран, Т. М. Духанина [и др.]. – М. : ВНИИА, 2016. – 124 с.

537. Скоробогатова И. В. Изменение содержания фитогормонов в проростках ячменя в онтогенезе и при внесении регуляторов, стимулирующих рост / И. В. Скоробогатова, Е. В. Захарова, Н. П. Карсункина // *Агрохимия*. – 1999. – № 8. – С. 49-53.
538. Скрипников В. Ю. Совершенствование информационной базы сортов плодовых культур / В. Ю. Скрипников // *Садоводство и виноградарство*. – 2001. – № 3. – С. 31-32.
539. Смарыгин С. Н. История кафедры неорганической и аналитической химии / С. Н. Смарыгин // *Агрохимический вестник*. – 2009. – № 1. – С. 15-16.
540. Смарыгин С. Н. История преподавания неорганической и аналитической химии в ведущем аграрном университете России / С. Н. Смарыгин. – Иркутск : ООО «Мегапринт», 2017. – 177 с.
541. Смирнов А. Н. Болезни картофеля: вызов – ответ / А. Н. Смирнов, В. В. Васильченко, Ф. Х. Аमतханова // *Картофель и овощи*. – 2022. – № 5. – С. 26-29.
542. Смирнов А. Н. Вредоносность патоккомплекса *Fusarium – Alternaria* в посадках картофеля / А. Н. Смирнов, Е. С. Приходько // *Картофель и овощи*. – 2019. – № 7. – С. 14-15.
543. Смирнов А. Н. Прикладное значение определения репродуктивного потенциала и агрессивности грибных и псевдогрибных патогенов картофеля и томата / А. Н. Смирнов, Е. С. Приходько, В. В. Васильченко // *Картофель и овощи*. – 2019. – № 6. – С. 18-25.
544. Смирнов А. Н. Некоторые ретроспективные и современные фитопатологические вызовы для картофелеводства / А. Н. Смирнов, Е. С. Приходько, О. Г. Смирнова // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36. – № 2. – С. 20-26.
545. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ¹⁵N) / П. М. Смирнов. – М. : ТСХА, 1982. – 74 с.
546. Смирнов П. М. Превращение азота удобрений в почве и его

- использование растениями / П. М. Смирнов // Применение стабильного изотопа ^{15}N в исследованиях по земледелию. – М. : Колос, 1973. – С. 189-199.
547. Смирнов П. М. Превращение промежуточных продуктов нитрификации в почве и их роль в газообразных потерях азота удобрений / П. М. Смирнов, В. В. Кидин, Л. А. Иванникова // Известия АН СССР, Серия биологическая. – 1981. – № 3. – С. 370-383.
548. Смольяковы В. М. Биологические особенности зимней (аскоспоровой) стадии парши яблон / В. М. Смольяковы. – Краснодар, 2005. – 32-38 с.
549. Совершенствование законодательной базы по семеноводству и защите интеллектуальной собственности в области селекции сельскохозяйственных растений. Совершенствование законодательной базы по семеноводству и защите интеллектуальной собственности в области селекции сельскохозяйственных растений / ред. А. Н. Березкина. – Курск : Интеграл, 2009. – 96 с.
550. Современные методы применения феромонов для защиты плодовых культур от вредителей / Н. Н. Третьяков, И. М. Митюшев, Н. В. Вендило, В. А. Плетнев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2010. – Т. XXIV. – С. 242-249.
551. Соколов О. А. Физиолого-биохимические основы азотного питания растений / О. А. Соколов // Бюллетень ВНИИА. – 2001. – № 115. – С. 104-106.
552. Состав эфирного масла *Heraclium Calchareum* L / И. И. Грандберг, Л. Б. Дмитриев, Н. А. Ключев, Г. А. Эсванджия // Доклады ТСХА. – 1977. – № 223. – С. 138-141.
553. Спонтанное перекрестное опыление озимой гексаплоидной тритикале / В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, О. В. Митрошина, А. В. Широколава // Известия ТСХА. – 2013. – № 4. – С. 32-47.
554. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии / ред. И. Г. Грингофа. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 528 с.

555. Сушкова Л. О. Генетические особенности мяты перечной и экзогенная мобилизация ее адаптивного потенциала / Л. О. Сушкова // «Роль метаболомики в совершенствовании биотехнологических средств производства» по направлению «Метаболомика и качество жизни». – М : ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», 2019. – С. 368-370.
556. Сушкова Л. О. Изменение компонентного состава эфирного масла мяты перечной под действием биологически активных препаратов / Л. О. Сушкова // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – М : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. – С. 397-398.
557. Сушкова Л. О. Регуляторное воздействие биологически активных веществ на рост и развитие эфиромасличных культур / Л. О. Сушкова // Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия / ред. В. Г. Сычев. – М, 2019. – С. 154-157.
558. Сушкова Л. О. Хроматографический анализ в практике исследования биологических объектов содержащих эфирное масло / Л. О. Сушкова, С. Л. Белопухов // Доклады ТСХА. – 2019. – С. 635-636.
559. Сушкова Л. О. Инновационный потенциал развития производства и переработки эфиромасличных и лекарственных растений в РФ / Л. О. Сушкова, Л. Б. Дмитриев // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки / ред. В. С. Паштецкий. – Ялта : ООО «Издательство Типография «Ариал», 2019. – С. 360-361.
560. Сушкова Л. О. Влияние обработки растений гербицидами на характер биосинтеза эфирного масла *Mentha piperita* L. сорта Янтарная / Л. О. Сушкова, В. Л. Дмитриева, Л. Б. Дмитриев // Бутлеровские сообщения. – 2013. – № 34. – С. 149-151.
561. Сушкова Л. О. Сравнительная характеристика компонентного состава

- эфирных масел мяты перечной в зависимости от стадии вегетации / Л. О. Сушкова, В. А. Литвинский // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина. – М, 2018. – С. 723-727.
562. Сычев В. Г. Географической сети опытов с удобрениями - 75 лет / В. Г. Сычев // Плодородие. – 2016. – № 1. – С. 2-3.
563. Сычев В. Г. Роль Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ВНИИА) в решении комплексных проблем химизации сельского хозяйства / В. Г. Сычев, В. Г. Минеев // Плодородие. – 2011. – С. 2-4.
564. Сюняев Х. Х. Агроэкологическое исследование параметров плодородия почв Калужской области / Х. Х. Сюняев, О. И. Сюняева. – Калуга : Изд-во Калужского ЦНТИ, 2004. – 185 с.
565. Тараканова И. Г. Продукционный процесс растений мискантуса (по результатам географического эксперимента) / И. Г. Тараканова, Н. Ф. Хохлов, А. А. Анисимов // Доклады ТСХА. – М. : РГАУ-МСХА, 2015. – С. 75-78.
566. Тейт Р. Органическое вещество почвы (перевод с англ.) / Р. Тейт. – М. : «МИР», 1991. – 400 с.
567. Телевка М. С. Роль селена в формировании продуктивности яровой пшеницы в стрессовых условиях / М. С. Телевка. – Москва : РГАУ-МСХА, 2013. – 165 с.
568. Теппер Е. З. Микроорганизмы рода *Nocardia* и разложение гумуса / Е. З. Теппер. – М. : Инфра-М, 2018. – 224 с.
569. Технологические особенности интегрированной защиты яблони от яблонной плодовой гнили и парши / В. Ф. Дрозда, М. А. Кочерга, Е. Б. Дутбаев, Г. А. Кампитова // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. – М., 2013. – Т. XXXVI. – С. 162-166.
570. Технология получения гранулированных удобрений на органической основе / Р. А. Острога, Н. П. Юхименко, Я. Э. Михайловский, А. В.

- Литвиненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 1. – № 6(79). – С. 19-26.
571. Тимирязев К. А. Избранные сочинения. Т. 1 / К. А. Тимирязев. – М. : Сельхозгиз, 1957. – 723 с.
572. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство / М. Е. Ткаченко, А. И. Асосков, В. Н. Синев; ред. М. Е. Ткаченко. – Ленинград : Гослестехиздат, 1939. – 746 с.
573. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2002. – 472 с.
574. Торшин С. П. Влияние естественных и антропогенных факторов на формирование микроэлементного состава продукции растениеводства. Дисс. ... докт. биол. наук. / С. П. Торшин. – М, 1998. – 296 с.
575. Торшин С. П. Размеры поступления ^{137}Cs в почву из луговых растений и его пространственное распределение / С. П. Торшин, Ю. М. Бебнева, А. С. Пельтцер // Труды Международной научно-практической конференции Проблемы и мониторинг природных экосистем. – Пенза, 2014. – С. 116-118.
576. Торшин С. П. Биогеохимия и агрохимия селена и методы устранения селенодефицита в пищевых продуктах и корнях / С. П. Торшин, Т. М. Удельнова, Б. А. Ягодин // Агрохимия. – 1996. – № 8-9. – С. 127-143.
577. Точное сельское хозяйство (precision agriculture) / ред. Д. Шпаар, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. – СПб. : Пушкин, 2009. – 400 с.
578. Третьяков Н. Н. Защита плодовых культур от вредителей: Учебное пособие / Н. Н. Третьяков. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 143 с.
579. Трухачев В. И. Мониторинг социально-трудовой сферы села на Ставрополье / В. И. Трухачев, Н. В. Тарасенко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2006. – № 4. – С. 51-53.
580. Тутельян В. А. Селен в организме человека. Метаболизм. Антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе / В. А. Тутельян, В. А. Княжев, С. А. Хотимченко. – М : Издательство РАМН, 2002. – 219 с.

581. Уланова Е. С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур / Е. С. Уланова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 53 с.
582. Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях нечерноземья / Б. И. Сандухадзе, Р. З. Мамедов, Р. А. Афанасьев [и др.] // Плодородие. – 2021. – № 3(120). – С. 66-70.
583. Фесютин И. А. Влияние сорта, скелетообразователя и возраста дерева на распространенность ржавчины груши / И. А. Фесютин // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2021. – № 2(48). – С. 32-38.
584. Фольгапленовые диспенсеры – новая препаративная форма для феромонного мониторинга яблонной плодовой гнили / И. М. Митюшев, Н. Н. Третьяков, А. О. Савушкин [и др.] // Агро XXI. – 2008. – № 10-12. – С. 33-34.
585. Фоминых Т. С. Мониторинг вирусных болезней картофеля в Псковской и Астраханской областях России / Т. С. Фоминых, Г. П. Иванова, К. Д. Медведева // Вестник защиты растений. – 2017. – № 4(94).
586. Фройденштайн Х. Правовые основы в области селекции и семеноводства в Германии, Европейском Союзе и мире / Х. Фройденштайн // Совершенствование законодательной базы по семеноводству и защите интеллектуальной собственности в области селекции сельскохозяйственных растений. – Курск : Интеграл, 2009. – С. 35-42.
587. Хелдт Г.-В. Биохимия растений / Г.-В. Хелдт. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 471 с.
588. Химический состав льняного масла из семян разных сортов / Р. Ф. Байбеков, С. Л. Белопухов, Л. Б. Дмитриев [и др.] // Научный альманах, сельскохозяйственные науки. – 2019. – № 8-1. – С. 58-58.
589. Хромов С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – 2-е изд. – Л. : Гидрометеоиздат, 1963. – 620 с.
590. Хромов С. П. Метеорология и климатология: Учебник / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – 4-е. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 520 с.

591. Церлинг В. В. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур / В. В. Церлинг. – М. : Колос, 1980. – 135 с.
592. Церлинг В. В. Растительная диагностика и биологическое качество урожая / В. В. Церлинг // Агрохимия. – 1971. – № 3. – С. 135-148.
593. ЦИНАО -30 лет. Вклад в развитие агрохимической службы / ред. В. Г. Сычев. – М. : ЦИНАО, 1999. – 336 с.
594. Цыбулько Н. Н. Вклад азота почвы и удобрений в формирование урожая сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Цыбулько // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 43-54.
595. Чижикова Н. П. Влияние длительного орошения на степень агрегированности и минералогический состав илистой фракции темно-каштановых почв Заволжья / Н. П. Чижикова, В. А. Барановская, Н. Б. Хитров // Почвоведение. – 2011. – № 8. – С. 978-994.
596. Чирков Ю. И. Агрометеорология / Ю. И. Чирков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986. – 293 с.
597. Шафран С. А. Совершенствование нормативно-справочной базы для определения потребности сельскохозяйственных культур в минеральных удобрениях / С. А. Шафран // Агрохимия. – 2019. – № 7. – С. 27-34.
598. Шафран С. А. Значение комплексного агрохимического окультуривания в повышении эффективности азотных удобрений под пшеницу / С. А. Шафран, Т. М. Духанина // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 21-30.
599. Шафран С. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах / С. А. Шафран, Н. А. Кирпичников // Агрохимия. – 2019. – № 4. – С. 3-10.
600. Шашко Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 248 с.
601. Шевелуха В. С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе / В. С. Шевелуха. – Москва : Колос, 1992. – 599 с.
602. Шеуджен А. Х. Биогеохимия / А. Х. Шеуджен. – Майкоп : ГУРИПП

«Адыгея», 2003. – 1028 с.

603. Широко распространенные и потенциально опасные для российского агропроизводства возбудители вирусных болезней картофеля / Е. В. Рогозина, Н. В. Мироненко, О. С. Афанасенко, Ю. Мацухито // Вестник защиты растений. – 2016. – № 4.

604. Шихова Л. Н. Динамика лабильного органического вещества и кислотности в профиле дерново-подзолистых почв [Под посевами ячменя и чистым паром] / Л. Н. Шихова // Здоровье - питание - биол. ресурсы. – Киров, 2002. – С. 482-487.

605. Шкуркин С. И. Становление и развитие Географической сети полевых опытов с удобрениями в России (к 80-летию Географической сети полевых опытов с удобрениями) / С. И. Шкуркин, С. А. Шафран, А. Н. Налиухин // Плодородие. – 2021. – № 3. – С. 12-15.

606. Шпаар Д. Устойчивость сорта как составной элемент интегрированной защиты растений / Д. Шпаар // Вестник защиты растений. – 2003. – № 1. – С. 8-15.

607. Шубина Л. Н. Использование муки из зерна тритикале при производстве изделий профилактического назначения / Л. Н. Шубина, А. С. Немцова // Материалы международной практической конференции «Роль тритикале в стабилизации и увеличении производства зерна и кормов» и секции тритикале отделения растениеводства РАСХН. – Ростов-на-Дону : ДЗНИИСХ, 2010. – С. 262-266.

608. Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование / А. М. Шульгин. – 2-е. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 341 с.

609. Шумаков Б. П. Мелиорация и орошаемое земледелие в степной зоне СССР на современном этапе и перспективу / Б. П. Шумаков, Б. Г. Штепа, Г. В. Воропаев // Обеспечение устойчивого развития сельскохозяйственного производства и борьба с засухой. – М : Агропромиздат, 1988. – С. 116-136.

610. Шумилин А. О. Влияние селена на устойчивость яровой пшеницы к засухе и загрязнению почвы кадмием / А. О. Шумилин. – Москва : РГАУ-

МСХА, 2016. – 169 с.

611. Экологическая безопасность мяты перечной при выращивании на дерново-подзолистой почве в Московской области / Л. О. Сушкова, С. Л. Белопухов, Л. Б. Дмитриев [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 16. – С. 158-161.

612. Экологические аспекты выращивания эфиромасличного сырья. Опыт работ в Тимирязевской академии / Л. О. Сушкова, Л. Б. Дмитриев, С. Л. Белопухов, В. Л. Дмитриева // Глобальные проблемы экологии. – Орехово-Зуево : ГГТУ, 2016. – С. 71-77.

613. Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева / А. И. Беленков, С. В. Железнова, Березовский Е.В., М. А. Мазиров // Известия ТСХА. – 2011. – № 6. – С. 90-100.

614. Эпифитотия фузариозного увядания на картофеле в Среднем Поволжье / Ф. Ф. Замалиева, М. Ш. Тагиров, Т. В. Зайцева, Л. Ю. Рыжих // Нива Татарстана. – 2015. – № 1. – С. 21-24.

615. Эфирные масла: методы определения подлинности и выявления фальсификации. Обзор / И. В. Лапко, Ю. Б. Аксенова, О. В. Кузнецова [и др.] // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23. – № 4. – С. 444-475.

616. Эфирные масла зелени укропа сорта Грибовский и Лесногородский / И. И. Грандберг, Л. Б. Дмитриев, Т. Н. Шманаева, А. П. Примак // Основные направления научных исследований по интенсификации эфиромасличного производства. – Симферополь, 1985. – С. 64-75.

617. Юрениа А. В. Влияние состава сосновых насаждений на содержание гумуса и кислотность в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв / А. В. Юрениа, Д. И. Янутенок // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2009. – № 1. – С. 223-226.

618. Ягодин Б. А. Влияние микроэлементов на урожайность и некоторые физиологические процессы овощных культур / Б. А. Ягодин // Роль

микроэлементов в сельском хозяйстве и медицине. – М : Изд-во МГУ, 1961. – С. 4-11.

619. Якуба Г. В. Пути интенсификации и кооперации в селекции садовых культур и винограда / Г. В. Якуба, И. Л. Ефимова // Сб. науч. тр. – Краснодар, 2002. – С. 131-134.

620. Якушев В. В. Технология точного земледелия: опыт внедрения на полях Меньковской опытной станции АФИ РАСХН / В. В. Якушев, В. В. Воропаев, П. В. Лекомцев // Ресурсосберегающее земледелие. – 2009. – Т. 2. – С. 31-34.

АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

коллективная монография

© Издательство РГАУ-МСХА
127550 Москва, Тимирязевская ул. д. 44