

ISSN 1997-6011

# **ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО**

Научно-практический журнал

# **PRIRODOOBUSTROJSTVO**

Theoretical-practical journal

**3' 2024**

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

Moscow,  
Publishing house of Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy



ISSN 1997-6011

# ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

3' 2024

**Учредитель и издатель:****ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева**Адрес учредителя и издателя:  
127434, Российская Федерация,  
г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49Журнал зарегистрирован Федеральной  
службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых  
коммуникаций**Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-58566 от 14 июля 2014 г.**Журнал включен в перечень изданий,  
рекомендованных ВАК РФ  
для публикации трудов соискателей  
ученых степеней кандидата и доктора наук  
**Издание включено в систему РИНЦ,  
CrossRef, AGRIS (Agricultural  
Research Information System),  
КиберЛенинка (Open Science)**Полнотекстовые версии доступны на сайте  
<http://elibrary.ru>  
<https://environment.timacad.ru/jour>Редактор *В.И. Марковская*  
Компьютерный набор и верстка –  
*А.С. Лаврова*  
Перевод на английский язык –  
*В.Г. Рябчикова*  
Ответственный за выпуск –  
*Н.Я. Филатова*Адрес редакции: 127434, Москва,  
Прянишникова ул., 14, строение 7-7А  
Тел.: 8 (499) 976-36-67  
Email: [pririodamgur@mail.ru](mailto:pririodamgur@mail.ru)  
Сайт: [environment.elpub.ru](http://environment.elpub.ru)Отпечатано в типографии  
ООО «Офсет Принт»  
127550, г. Москва,  
Дмитровское ш., д. 39, корп. 1  
Тел: 8 (499) 976-24-85,  
8 (916) 503-02-43Подписано в печать 07.08.24 г.  
Формат 60 84/8, Тираж 500 экз.При использовании  
материалов журнала в любой форме  
ссылка на журнал обязательна.© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева, 2024**Главный научный редактор****Журавлева Л.А.**, д-р техн. наук, доцент  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Заместитель научного редактора****Бенин Д.М.**, канд. техн. наук, доцент, член-кор.  
Российской академии водохозяйственных наук  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Члены редакционного совета****Алексеев А.С.**, д-р. геогр. наук, профессор  
Санкт-Петербургский государственный университет имени С.М. Кирова,  
(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)**Балабанов В.И.**, д-р. техн. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Безбородов Ю.Г.**, д-р. техн. наук, доцент  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Брянская Ю.В.**, д-р. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет» (г. Москва, Российская Федерация)**Волосухин В.А.**, д-р. техн. наук, профессор  
Академия безопасности гидротехнических сооружений  
(г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Дубенок Н.Н.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Исмаилов Г.Х.**, д-р. техн. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Кентбаев Е.Ж.**, д-р. с.-х. наук, профессор, Академик КазНАЕН  
НАО «Казахский национальный исследовательский университет»  
(г. Алматы, Республика Казахстан)**Кирейчева Л.В.**, д-р. техн. наук, профессор  
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**Косиченко Ю.М.**, д. техн. наук, профессор  
ФГБНУ РосНИИПМ (г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Лисичкин С.Е.**, д-р. техн. наук, с.н.с.  
Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (Москва, Российская Федерация)**Лихацевич А.П.**, д-р. техн. наук, член-кор. Академии Наук Белоруссии  
Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»  
(г. Минск, Республика Беларусь)**Матвеев С.М.**, д-р. биол. наук, профессор  
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова  
(г. Воронеж, Российская Федерация)**Мирзаев Б.С.**, д-р техн. наук, профессор  
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»  
(Ташкент, Узбекистан)**Михеев П.А.**, д-р. техн. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Ольгаренко Г.В.**, д-р. с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН  
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения  
и сельхозводоснабжения Радуга (г. Коломна, Российская Федерация)**Попов И.И.**, PhD, доцент  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Пчелкин В.В.**, д-р. техн. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Раткович Л.Д.**, д-р. техн. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Рубин О.Д.**, д-р. техн. наук, с.н.с.  
АО «Институт Гидропроект» (Москва, Российская Федерация)**Ханов Н.В.**, д-р. техн. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Хлюстов В.К.**, д-р. с.-х. наук, профессор  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Худаев И.Ж.**, канд. техн. наук., доцент  
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»  
(г. Ташкент, Узбекистан)**Шевченко В.А.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН  
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**ПОДПИСКА:**электронный каталог «Пресса России» <https://www.pressa-ru/cat/1/edition/t80746/>**Цена подписная**



ISSN 1997-6011

# PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

3' 2024

**Founder and Publisher:****Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy**Address of Founder and Publisher:  
49, Timiryazevskaya str., Moscow,  
127434, Russian FederationThe journal is registered  
by the Federal service for supervision  
of communications, information technology  
and mass media**Certificate of registration**  
**PI No FS 77-58566 dated July 14, 2014**The journal is included in the list of publications  
recommended by Higher Attestation Commission  
of the Russian Federation for publishing papers  
of those seeking PhD and DSc scientific degrees  
**The issue is listed in the Russian Science  
Citation Index, CrossRef,  
AGRIS (Agricultural Research Information System),  
Kiberleninka (Open Science)**Full versions are posted on the site  
<http://elibrary.ru>  
<https://environment.timacad.ru/jour>Editor *V.I. Markovskaya*Computer typesetting and makeup –  
*A.S. Lavrova*Translation into English – *V.G. Ryabchikova*  
Responsible for the issue of the journal –  
*N.Ya. Filatova*Address of the editorial office:  
building 7-7A, Pryanishnikova str., 14,  
Moscow, 127434, Russian Federation  
Tel.: +7 (499) 976-36-67  
Email: [prirodangup@mail.ru](mailto:prirodangup@mail.ru)  
Website: [environment.elpub.ru](http://environment.elpub.ru)Printed in typography  
OOO "Offset Print"  
127550, Moscow,  
Dmitrovskoe shosse, 39, building 1  
Tel.: +7 (499) 976-24-85,  
+7 (916) 503-02-43Signed for print 07.08.24  
Format 60 84/8, Circulation 500*When using the materials of the journal  
in any form reference to the journal is obligatory.*© Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2024**Scientific editor-in-chief****Larisa A. Zhuravleva**, DSci. (Eng), Associate Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Deputy scientific editor-in-chief****Dmitry M. Benin**, CSci. (Eng), Associate Professor, Corresponding Member  
of the Russian Academy of Hydro Economic Sciences  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Members of the Editorial Board****Alexander S. Alekseev**, DSci. (Geogr), Professor  
St. Petersburg state university named after S.M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)**Victor I. Balabanov**, DSci. (Eng), Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Yury G. Bezborodov**, DSci. (Eng), Associate Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Yuliya V. Bryanskaya**, DSci. (Eng), Associate Professor  
"National Research Moscow State University of Civil Engineering" (Moscow, Russian Federation)**Victor A. Volosukhin**, DSci. (Eng), Professor  
Academy of safety of hydraulic structures (Novocheboksak, Russian Federation)**Nikolay N. Dubenok**, DSci. (Agr), Professor,  
Academician of the Russian Academy of Sciences  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Gabil Kh. Ismailylov**, DSci. (Eng), Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Erzhan Zh. Kentbaev**, DSci. (Agr), Professor, Academician of KazNAEN  
NAO "Kazakh National Research University" (Almaty, Republic of Kazakhstan)**Lyudmila V. Kireycheva**, DSci. (Eng), Professor  
Federal Research Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (Moscow, Russian Federation)**Yury M. Kosichenko**, DSci. (Eng), Professor  
FGBNU Russian Research Institute of Applied Mathematics (Novocheboksak, Russian Federation)**Sergey E. Lisichkin**, DSci. (Eng), Senior Researcher  
Branch of JSC "Institute Hydroproject – "NIIES" (Moscow, Russian Federation)**Anatoly P. Likhatchevich**, DSci. (Eng),  
Corresponding Member of the Academy of Sciences of Belarus  
Republican scientific subsidiary unitary Enterprise "Institute of Land Reclamation"  
(Minsk, Republic of Belarus)**Sergey M. Matveev**, DSci. (Bio), Professor  
Voronezh state forestry engineering university named after G.F. Morozov (Voronezh, Russian Federation)**Bahadir S. Mirzaev**, DSci. (Eng), Professor  
Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (Tashkent, Uzbekistan)**Pavel A. Mikheev**, DSci. (Eng), Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Gennadiy V. Olgarenko**, DSci. (Agr), Professor,  
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences  
All-Russian research institute of irrigation and agricultural water supply systems Raduga  
(Kolomna, Russian Federation)**Ivan I. Popov**, PhD, Associate Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Victor V. Pchelkin**, DSci. (Eng), Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Lev D. Ratkovich**, Doctor of technical sciences, Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Oleg D. Rubin**, DSci. (Eng), Professor, Senior Researcher  
Institute Hydroproject – "NIIES" (Moscow, Russian Federation)**Nartmir V. Khanov**, DSci. (Eng), Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Vitaly K. Khlyustov**, DSci. (Eng), Professor  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Ibrakhim Zh. Khudaev**, CSci. (Eng), Associate Professor  
National Research University "Tashkent institute of irrigation  
and agricultural mechanization engineers" (Tashkent, Uzbekistan)**Victor A. Shevchenko**, DSci. (Agr), Professor,  
Academician of the Russian Academy of Sciences  
Federal Research Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (Moscow, Russian Federation)

## Содержание

### Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

<b>Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Харитонов С.И., Кульчев А.Ю.</b> Экспериментальные исследования влияния освещения на эвтрофикацию водоемов и работу систем капельного орошения.....	6
<b>Северюгина Н.С., Апатенко А.С., Голубев И.Г.</b> Цифровые модели контроля и управления безрискового функционирования мелиоративного комплекса.....	13
<b>Бельшкина М.Е.</b> Влияние условий влагообеспеченности вегетационного периода на продуктивность сортов сои различного эколого-географического происхождения в условиях Центрального Нечерноземья.....	21
<b>Павлов М.В., Карпов Д.Ф.</b> Решение краевой задачи тепломассопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина для условий лучистого обогрева почвы.....	31
<b>Журавлева Л.А., Алдиаб Анас</b> Оценка конструктивно-высотных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия.....	37
<b>Сметанин В.И., Хунас Каси</b> Проблема опустынивания земель как один из основных вызовов современному человечеству.....	44

### Гидротехническое строительство

<b>Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н., Дударова Ф.Т.</b> Биоинженерные технологии защиты и обустройства прибрежных земель малых водных объектов АПК.....	53
<b>Алсадек Е.С.</b> Крепление в нижнем бьефе шахтно-башенного водосброса гидроузла «16 Тишрин».....	63

### Гидравлика и инженерная гидрология

<b>Перминов А.В., Ильинич В.В., Редников С.Н., Маков Р.С.</b> Проблемы использования ирригационных водохранилищ в аридной зоне Европейской территории России.....	71
<b>Кацко А.И., Маций С.И.</b> Оценка состояния оползневого склона на основе анализа многомерных временных рядов данных геотехнического мониторинга.....	80
<b>Чигирова Л.Б.</b> Расчет твердого стока реки Чегем в районе карьера ниже с.п. Чегем Второй (Кабардино-Балкарская Республика).....	88
<b>Али М.С., Лентяева Е.А., Бегляров Д.С.</b> Теоретические и экспериментальные основы рабочего процесса вихревых насосов.....	94

### Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

<b>Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Чистяков С.А., Гемонов А.В.</b> Естественное возобновление в насаждениях ядра заповедника «Кологривский лес».....	99
<b>Корчагин И.Е., Залесов С.В., Осипенко Р.А.</b> Динамика таксационных показателей искусственных сосновых древостоев на рекультивированном золотвале.....	106
<b>Бардакова С.А.</b> Ароматные садовые розы для озеленения и создания зон аэрофитотерапии.....	112
<b>Пещанская Е.В.</b> Биологические особенности некоторых видов семейства яснотковые, ареал распространения и перспектива их использования в озеленении.....	117
<b>Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В.</b> Анализ состояния сосновых древостоев в городских лесах города Тюмень (на примере парка «Гилёвская роща»).....	125
<b>Чебанная Л.П.</b> Интродукция декоративных кустарников и перспективы их использования в озеленении.....	134

## Contents

### Land reclamation, water economy and agrophysics

**Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., Kharitonov S.I., Kulchev A.Y.**

Experimental studies of the effect of lighting on eutrophication of water bodies and the operation of drip irrigation systems .....6

**Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Golubev I.G.**

Digital models of control and management of risk-free operation of the reclamation complex .....13

**Belyshkina M.E.**

The influence of moisture availability conditions of the growing season on the productivity of soybean varieties of various ecological and geographical origin in the conditions of the Central Non-Chernozem region .....21

**Pavlov M.V., Karpov D.F.**

Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the method of joint application of the integral Laplace transform and the Bubnov-Galerkin variational method for conditions of radiant soil heating .....31

**Zhuravleva L.A., Aldiab Anas**

Evaluation of the structural and height parameters of wide-span circular sprinkler machines .....37

**Smetanin V.I., Kaci H.**

The problem of land desertification – as one of the main challenges to modern humanity .....44

### Hydraulic engineering construction

**Khanov N.V., Kurbanov S.O., Chernikh O.N., Dudarova F.T.**

Bioengineering technologies for the protection and development of coastal lands of small water bodies of the agro-industrial complex .....53

**Alsadek E.S.**

Fastening in the downstream of the shaft-tower spillway of the “16 Tishrin” hydroelectric complex .....63

### Hydraulics and engineering hydrology

**Perminov A.V., Ilinich V.V., Rednikov S.N., Makov R.S.**

Problems of using irrigation reservoirs in the arid zone of the European territory of Russia .....71

**Katsko A.I., Matsiy S.I.**

Assessment of the state of a landslide slope based on the analysis of multidimensional time series of geotechnical monitoring data .....80

**Chigirova L.B.**

Calculation of solid runoff of the chegem river in the area of the quarry downstream of the village of Chegem Vtoroy (Kabardino-Balkarian Republic) .....88

**Ali M.S., Lentyaeva E.A., Beglyarov D.S.**

Theoretical and experimental foundations of the working process of vortex pumps .....94

### Forest science, forestry, forest crops, agricultural afforestation, landscaping, forest pyrology and taxation

**Dubenok N.N., Lebedev A.V., Chistyakov S.A., Gomonov A.V.**

Natural reforestation in forest plantations in the core of the «Kologrivsky forest» nature reserve .....99

**Korchagin I.E., Zalesov S.V., Osipenko R.A.**

Dynamics of taxation indicators of artificial pine stands on the reclaimed ash dump ..... 106

**Bardakova S.A.**

Fragrant garden roses for landscaping and aerophytotherapy areas ..... 112

**Peshchanskaya E.V.**

Biological features of some species of the family labiatae, the range of distribution, and the prospect of their use in landscaping ..... 117

**Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V.**

Assessment of the condition of pine stands in the urban forests of the city of Tyumen (on the example of the park “Gilevskaya Roshcha”) ..... 125

**Chebannaya L.P.**

Introduction of ornamental shrubs and prospects for their use in landscaping ..... 134

## Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

УДК 631.67:628.316: 6:628.113.1



### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЭВТРОФИКАЦИЮ ВОДОЕМОВ И РАБОТУ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

О.Н. Дидманидзе<sup>1</sup>, А.В. Евграфов<sup>1✉</sup>, Д.А. Москвичев<sup>1</sup>, С.И. Харитонов<sup>2</sup>, А.Ю. Кульчев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ «ФНИЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корпус 2, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований факторов, влияющих на возникновение эвтрофикации водоемов. Проблема загрязнения поверхностных вод стала особо актуальной в XX в. Связано это в основном с развитием промышленности и ростом городов. Поступление в водоемы огромного количества загрязняющих веществ приводит к деградации как отдельных компонентов экосистемы, так и целых групп водоемов, что в свою очередь является причиной сокращения запасов пресной воды на локальном и региональном уровнях. С середины XX в. наблюдается стремительное нарастание количества эвтрофированных водоемов и непригодности воды для систем капельного орошения по причине закупорки эмиттеров, связанной с развитием водорослей и бактерий в поверхностных источниках орошения. Для очистки капельниц применяют хлорирование путем добавления в поливную воду гипохлорита натрия в жидкой форме (NaOCl) или твердой формы гипохлорита кальция (Ca(OCl)<sub>2</sub>), которое вызывает подавление развития водорослей, что негативно влияет на почву и производимую продукцию. Цель исследований заключается в выявлении влияния степени затенения водной поверхности на рост и развитие сине-зеленых водорослей, на водородный показатель, карбонатную жесткость и содержание биогенных элементов в воде, а также ее дальнейшей пригодности для капельного орошения. В результате исследований установлена динамика развития водорослей в зависимости от степени освещенности водной поверхности и изменения содержания биогенных элементов.

**Ключевые слова:** эвтрофикация водоемов, капельное орошение, цветение воды, биогенные элементы, азотные и фосфорные элементы, освещение, хлор

**Формат цитирования:** Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Харитонов С.И., Кульчев А.Ю. Экспериментальные исследования влияния освещения на эвтрофикацию водоемов и работу систем капельного орошения // Природообустройство. 2024. № 3. С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

Original article

### EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECT OF LIGHTING ON EUTROPHICATION OF WATER BODIES AND THE OPERATION OF DRIP IRRIGATION SYSTEMS

O.N. Didmanidze<sup>1</sup>, A.V. Evgrafov<sup>1✉</sup>, D.A. Moskvichev<sup>1</sup>, S.I. Kharitonov<sup>2</sup>, A.Y. Kulchev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkin; 127434, Moscow, st. Timiryazevskaya. 49, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, st. Bolshaya Akademicheskaya, 44 building 2, Russia

**Abstract.** The article discusses the results of experimental studies of factors influencing the occurrence of eutrophication of water bodies. The problem of surface water pollution became particularly relevant in the 20th century. This is mainly due to the development of industry and urban growth. The entry of huge amounts of pollutants into water bodies leads to the degradation of both individual components

of the ecosystem and entire groups of water bodies. This, in turn, causes a reduction in freshwater supplies at the local and regional level. Since the middle of the 20th century, there has been a rapid increase in the number of eutrophicated reservoirs and the unsuitability of water for drip irrigation systems due to clogging of emitters associated with the development of algae and bacteria in surface irrigation sources. To clean drippers, chlorination is used by adding sodium hypochlorite in liquid form (NaOCl) or solid form of calcium hypochlorite (Ca(OCl)<sub>2</sub>) to irrigation water, which suppresses the development of algae, which negatively affects the soil and the products produced. The purpose of the study is to identify the influence of the degree of shading of the water surface on the growth and development of blue-green algae, as well as on the pH value, carbonate hardness and content of nutrients in water, and its further suitability for drip irrigation. As a result of the research, the dynamics of algae development was established depending on the degree of illumination of the water surface and changes in the content of biogenic elements in it.

**Keywords:** Eutrophication of reservoirs, drip irrigation, water blooming, biogenic elements, nitrogen and phosphorus elements, lighting, chlorine

**Format of citation:** Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., Kharitonov S.I., Kulchev A.Y. Experimental studies of the effect of lighting on eutrophication of water bodies and the operation of drip irrigation systems // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

**Введение.** Согласно ГОСТ 17.1.1.01-77 эвтрофированием называется повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под действием антропогенных или естественных факторов, то есть это процесс увеличения уровня питательных веществ (азота и фосфора) в водных системах, что приводит к избыточному росту водных растений, водорослей и вызывает серьезные экологические проблемы.

В России эвтрофикация становится все более актуальной проблемой по причине таких факторов, как:

- антропогенные источники загрязнения, рост населения, индустриализация и сельское хозяйство, приводящие к увеличению поступления азота и фосфора в водные системы;
- сброс сточных вод в водоемы;
- изменение климата в сторону потепления, и как следствие – повышение температуры воды в водоемах.

Источником антропогенного поступления биогенных элементов являются сточные воды поселений, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий. При эвтрофикации наблюдается цветение воды, массовое развитие высших водных растений, что приводит к биологическому засорению систем капельного полива.

Закупорка эмиттеров связана с развитием водорослей и бактерий как в источнике орошения, так и в системе. При использовании воды из открытых источников засорение капельниц возникает по причине распространения сине-зеленых водорослей.

Для очистки применяют хлорирование, которое вызывает подавление развития водорослей в воде. В поливную воду вводят хлор в концентрации 20 мг/л. Промывка производится в течение 30-60 мин. Для этого используют гипохлорит

натрия в жидкой форме (NaOCl) или твердую форму гипохлорита кальция (Ca(OCl)<sub>2</sub>). Однако опасность данной операции заключается в следующем:

1. Людей, работающих в поле, необходимо предупреждать о том, что обработанная вода является токсичной.

2. Хранить химикат в течение даже непродолжительного времени нельзя, так как он теряет свою активность.

3. В состоянии газа хлор выделяет токсичные испарения.

4. При превышении концентрации хлора в организме накапливаются хлораты, которые приводят к химическому отравлению организма человека и животных.

5. Растения накапливают в себе хлор и хлорсодержащий остаток, который участвует во многих физиологических процессах растений, и сельхозпроизводители часто сталкиваются с его чрезмерным количеством.

6. Хлор негативно влияет на большинство культур по причине избытка в почве. Молодые растения особенно чувствительны к этому микроэлементу, поскольку он влияет на ферментативные системы и приводит к нарушению развития растений, что проявляется в высыхании верхушек и краев листьев с последующим потемнением и опаданием.

7. Хлор приводит к изменению компонентного состава почвы и снижению дыхательной активности ее микробиоты [1].

**Материалы и методы исследований.** Отбор проб воды для проведения экспериментальных исследований производился 18.04.2023 г. из Нижнего Фермского пруда, расположенного на территории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 1).



Опыт был начат 04.06.2023 г. в 7:00 по московскому времени. Свет выставлен на высоте 10 см над уровнем воды, имитируя теплый весенний день. Была выбрана продолжительность светового дня: 12 часов, с 7:00 до 19:00. Выбор такой продолжительности основывается на работе «Свет и развитие растений» (Шаин С.С., Богданов П.И., Капманов А.А., Косарева Е.Г., Кособоков Г.И., Кузнецова Г.К., Могова А.В., Трусова Н.Р., Тямин В.В., 1963) [2].

С периодичностью один раз в 7 дней с момента начала эксперимента (11 апреля 2023 г.)

производился забор воды и проводился анализ по следующим показателям:

- 1)  $PO_4^3$  – фосфаты;
- 2)  $kH$  – карбонатная жесткость;
- 3)  $NO_3^-$  – нитраты;
- 4)  $pH$  – водородный показатель.

Отобранные пробы анализировались при помощи профессиональных тестов VladOx для воды (рис. 5).

На рисунке 6 представлены боксы с затенением поверхности 95, 50, 25 и 0%, а также показано развитие водорослей по неделям.

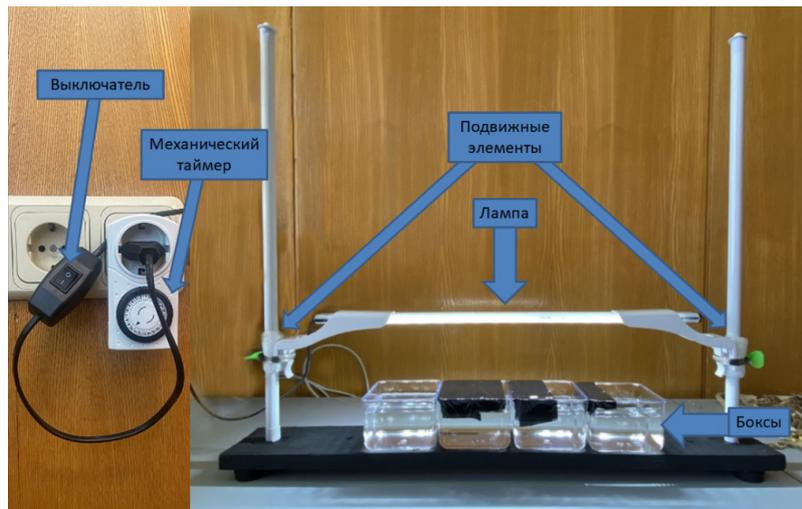


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Fig. 3. Scheme of the experimental installation

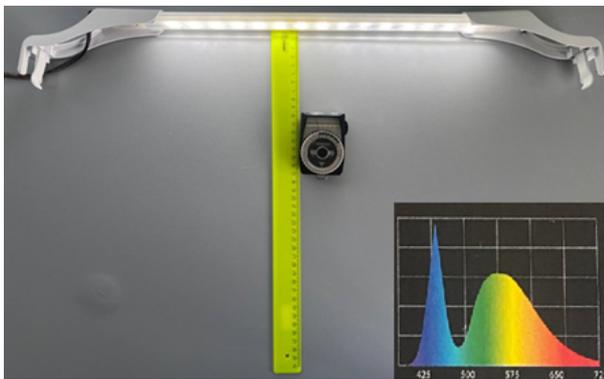


Рис. 4. Параметры лампы и высота расположения

Fig. 4. Lamp parameters and location height



Рис. 5. Профессиональные тесты VladOx для воды

Fig. 5. Professional tests for VladOx water

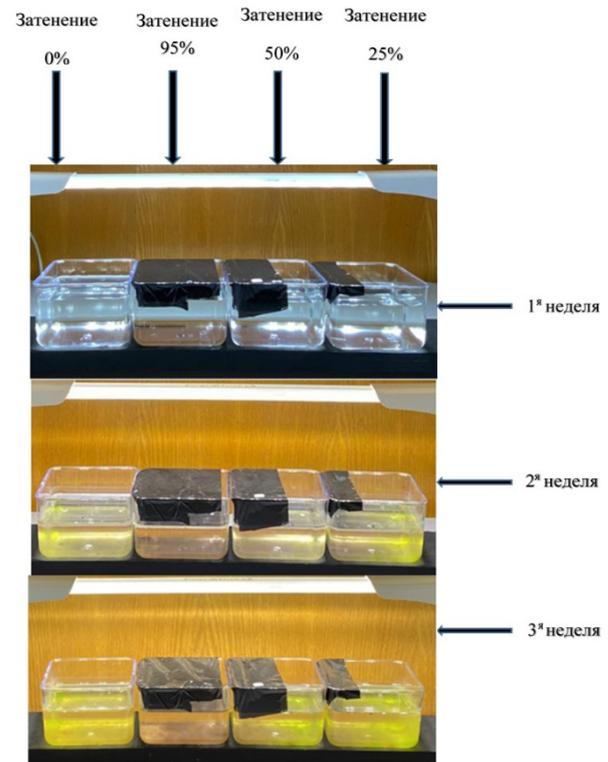


Рис. 6. Развитие водорослей в боксах

Fig. 6. Algae development in boxes

**Результаты и их обсуждение.** В ходе проведения экспериментальных исследований отмечено, что развитие водорослей зависело от степени затенения поверхности. Соответственно визуально максимальный рост отмечен в боксах с затенением 0 и 25%, меньше – в боксе с открытой поверхностью 50% и с затенением 95% – наблюдались следы растительности. На четвертой неделе проведения опытов наблюдалось пожелтение, а к шестой неделе – гибель водной растительности.

По данным литературы, наиболее благоприятными для развития сине-зеленых водорослей является нейтральная реакция и температура воды от 2° С. По мере возрастания рН от 4,0 до 10,0 количество видов и форм сначала увеличивается, затем уменьшается, достигая максимума в интервале рН 6-7 [3, 4].

На рисунке 8 представлены результаты замеров рН во время проведения эксперимента, из которых следует, что в течение первой недели водородный показатель во всех четырех боксах находился на уровне 7. На второй неделе показатель в боксе с 95%-ным затенением поверхности остался на прежнем уровне, а в остальных – поднялся до 7,5. Далее происходил рост рН, в дальнейшем достигнув максимального значения 8, при котором наблюдалась гибель водорослей, что соответствует данным источников литературы.

В процессе эксперимента производился также замер карбонатной жесткости воды кН, град., согласно ГОСТ 31865-2012 «Вода. Единица жесткости» (рис. 9) [6]. Во всех боксах отмечена тенденция снижения карбонатной жесткости с 10 до 3.

По данным литературы, в дневное время водоросли поглощают углекислый газ (CO<sub>2</sub>), как и другие водные растения. Если уровень CO<sub>2</sub> в воде становится слишком низким, водоросли могут получать CO<sub>2</sub> из карбонатной жесткости (кН) [7].

Жесткость воды определяется содержанием в ней растворенных солей кальция и магния. Высокая жесткость способствует бурному росту водорослей и водных растений, вызывая цветение воды, снижение прозрачности и нарушение баланса экосистемы.

Фосфаты и нитраты необходимы для растений. В период цветения уменьшается содержание в воде биогенных веществ – таких, как нитраты и фосфаты (рис. 10, 11). При снижении концентрации фосфатов до нуля массовое развитие цианобактерий (сине-зеленых водорослей) прекращается [8-11].

Результаты опытов по изменению содержания фосфатов PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и NO<sub>3</sub> нитратов приведены на рисунках 10, 11. Из содержания рисунков следует, что в процессе активного роста и развития

сине-зеленых водорослей наблюдалось падение концентрации фосфатов и нитратов в боксах, причем с увеличением степени затенения боксов динамика падения концентрации

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и NO<sub>3</sub> замедлялась в связи со снижением активности роста водорослей, что подтверждается данными литературы.

Оценка пригодности воды для капельного орошения по СП 100.13330.2016 приведена в таблице [12]. Из данных таблицы следует, что вода при применении технологии затенения пригодна для капельного орошения по таким показателям, как рН (рис. 8) и количество популяций водорослей, которая оценивалась визуально (рис. 6).

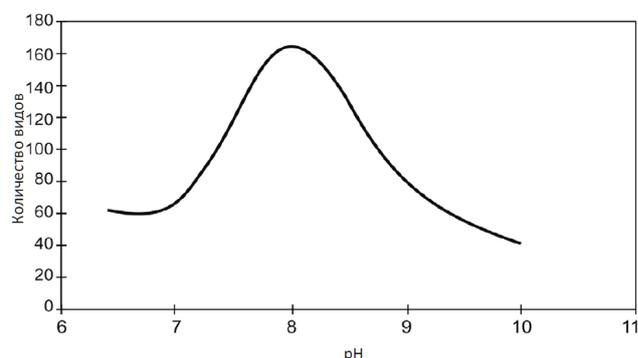


Рис. 7. Распределение растений в диапазоне активной реакции воды [5]

Fig. 7. Distribution of plants in the range of active water reaction [5]

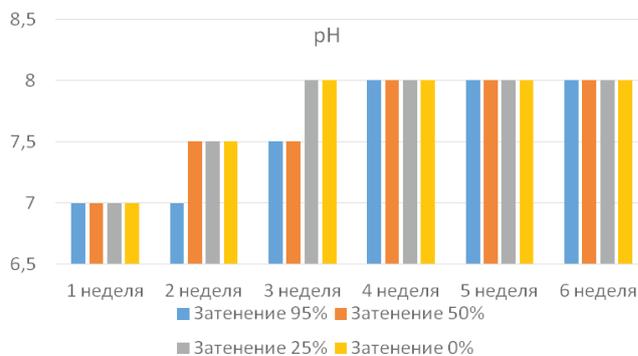


Рис. 8. Результаты замера рН в боксах

Fig. 8. Results of measuring kH in boxes

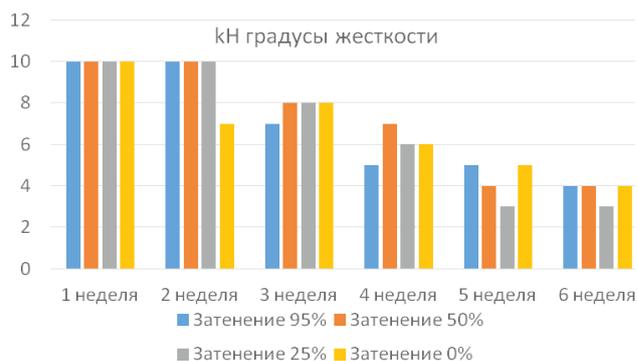


Рис. 9. Результаты замера кН в боксах

АНГЛ

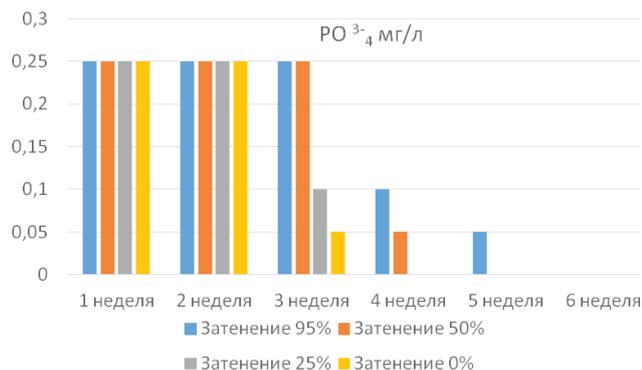


Рис. 10. Результаты замера PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> в боксах  
Fig. 10. Results of measuring PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> in boxes

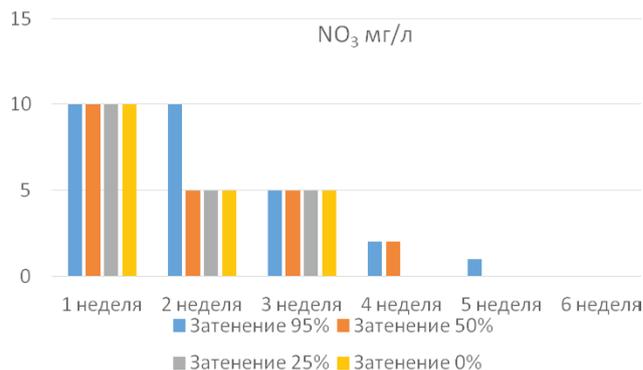


Рис. 11. Результаты замера NO<sub>3</sub> в боксах  
Fig. 11. Results of measuring NO<sub>3</sub> in boxes

**Таблица. Показатели пригодности воды по степени влияния на элементы системы капельного орошения [12]**

**Table. Indicators of water suitability by the degree of influence on the elements of the drip irrigation system [12]**

Показатель <i>Indicator</i>	Степень пригодности воды / <i>Degree of water suitability</i>		
	Пригодна <i>Suitable</i>	Условно пригодна <i>Conditionally suitable</i>	Непригодна <i>Unusable</i>
Общая минерализация мг/л <i>General mineralization mg / l</i>	<500	500-2000	>2000
рН	6-7	7-8	>8
Содержание марганца мг/л / <i>Manganese content mg / l</i>	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Содержание железа мг/л / <i>Iron content mg / l</i>	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Содержание сероводорода мг/л <i>Hydrogen sulfide content mg / l</i>	<0,2	0,2-2,0	>2,0
Количество популяций бактерий <i>Quantity of bacteria ppulations</i>	<10·10 <sup>6</sup>	10·10 <sup>6</sup> -50·10 <sup>6</sup>	>50·10 <sup>6</sup>

**Выводы**

1. Закупорка эмиттеров капельниц при заборе воды из поверхностных источников связана с развитием водорослей и бактерий.

2. Для очистки применяют хлорирование, которое вызывает подавление развития водорослей в воде. В состоянии газа хлор выделяет токсичные испарения, которые приводят к химическому отравлению организма человека и животных; растения накапливают

в себе хлор, что приводит к нарушению их развития.

3. Хлор вызывает изменение компонентного состава почвы и снижение дыхательной активности ее микробиоты.

4. Затенение поверхности источника орошения приводит к угнетению сине-зеленых водорослей, что позволяет отказаться от применения промывки систем капельного орошения хлорсодержащими веществами.

**Список использованных источников**

1. Рымовская М.В., Романовский В.И. Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2016. № 4 (186). С. 214-219. EDN: WHMPSP.
2. Шаин С.С. Свет и развитие растений / Богданов П.И., Кашманов А.А. и др. М.: Сельхозиздат, 1963. 623 с.
3. Никитина В.Н. Сине-зеленые водоросли термальных местообитаний: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург: 2000. 43 с. EDN: NJNKYF.
4. Сокольский А.Ф., Воронина А.И., Башмакова В.И. Влияние значения рН на организмы высших водных растений и моллюсков-фильтраторов // Перспективы развития строительного комплекса. 2017. № 1. С. 21-24. EDN: ZOFTSN.

**References**

1. Rymovskaya M.V. The effect of spent disinfection solutions of water supply facilities on the soil / M.V. Rymovskaya, V.I. Romanovsky // Proceedings of BSTU. No. 4. Chemistry, technology of organic substances and biotechnology. 2016. No. 4(186). P. 214-219. – EDN WHMPSP.
2. Shain S.S. Light and plant development / Bogdanov P.I., Kashmanov A.A. et al. M.: Agricultural publishing House, 1963. 623 p.
3. Nikitina V.N. Blue-green algae of thermal habitats: specialty 03.00.05: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Nikitina Valentina Nikolaevna. – St. Petersburg, 2000. 43 p. – EDN NJNKYF.
4. Sokolsky A.F. Influence of pH value on organisms of higher aquatic plants and filter mollusks / A.F. Sokolsky, A.I. Voronina, V.I. Bashmakova // Prospects

5. **Зиновьева А.Е., Дурникин Д.А.** Влияние активной реакции воды (рН) на распределение водных и прибрежно-водных растений в водоемах юга Обь-Иртышского междуречья // Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 3-2 (75). С. 21-24. EDN: PMDMCF.

6. ГОСТ 31865-2012. Вода. Единица жесткости. М.: Стандартинформ, 2019.

7. **Ивчатов А.Л.** Химия воды и микробиология: учебник / Малов В.И., Ивчатов А.Л., Малов В.И. М.: ИНФРА-М, 2011. EDN: QKTQGH.

8. **Беспалова К.В., Селезнева А.В., Селезнев В.А.** Питьевое водоснабжение в условиях массового развития сине-зеленых водорослей на водохранилищах // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 2. С. 121-134. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-2-9. EDN: KSKHDN.

9. **Harke M.J., Steffen M.M., Gobler C.J., Otten T.G., Wilhelm S.W., Wood S.A., Paerl H.W.** A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. Harmful Algae. 2016. Vol. 54. Pp. 4-20.

10. **Li J., Li R.** Current research scenario for microcystins biodegradation – A review on fundamental knowledge, application prospects and challenges // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 595. Pp. 615-632.

11. **Fagan R., Cormack D.E., Dionysiou D.D., Pillai S.C.** A review of solar and visible light active TiO<sub>2</sub> photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern // Materials Science in Semiconductor Processing. 2016. Vol. 42. Pp. 2-14.

12. СП100.13330.2016. Свод правил. мелиоративные системы и сооружения. СНиП 2.06.03 85 (дата актуализации: 01.01.2021). URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747638.htm>.

#### Об авторах

**Отари Назирович Дидманидзе**, академик РАН, д-р. техн. наук, профессор; ORSID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; [didmanidze@rgau-msha.ru](mailto:didmanidze@rgau-msha.ru)

**Алексей Владимирович Евграфов**, д-р. техн. наук, доцент; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; [labpoliv@list.ru](mailto:labpoliv@list.ru)

**Дмитрий Александрович Москвичев**, канд. техн. наук, AuthorID, 964662; [moskvichev@rgau-mcha.ru](mailto:moskvichev@rgau-mcha.ru)

**Станислав Игоревич Харитонов**, старший научный сотрудник; ORSID: 0000-0001-8891-4568, AuthorID: 835849; [s9169645595@yandex.ru](mailto:s9169645595@yandex.ru)

**Андрей Юрьевич Кульчев**, младший научный сотрудник; ORSID: 0000-0002-1885-8959, AuthorID: 1118272; [andreykulchev@rambler.ru](mailto:andreykulchev@rambler.ru)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Харитонов С.И., Кульчев А.Ю. выполнили практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.04.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 15.05.2024

for the development of the construction complex. 2017. No. 1. P. 21-24. – EDN ZOFTSN.

5. **Zinovieva A.E.** The influence of the active reaction of water (pH) on the distribution of aquatic and coastal aquatic plants in the reservoirs of the south of the Ob-Irtysh interfluvium / A.E. Zinovieva, D.A. Durnikin // Izvestiya Altai State University. 2012. No. 3-2(75). P. 21-24. – EDN PMDMCF.

6. GOST 31865-2012 "Water. The unit of rigidity." Moscow: Standartinform, 2019.

7. **Ivchatov A.L.** Water Chemistry and Microbiology: textbook / A.L. Ivchatov, V.I. Maslov; A.L. Ivchatov, V.I. Maslov. M.: INFRA-M, 2011. – ISBN 978-5-16-002421-9. – EDN QKTQGH.

8. **Bespalova K.V.** Drinking water supply in conditions of mass development of blue-green algae in reservoirs / K.V. Bespalova, A.V. Selezneva, V.A. Seleznev // Water management of Russia: problems, technologies, management. 2021. No. 2. P. 121-134. – DOI 10.35567/1999-4508-2021-2-9. – EDN KSKHDN.

9. **M.J. Harvey, M.M. Stefan, C.J. Gobler T.G., Ottex S.W., Wilhelm, S.A. Wood, H.W. Pearl.** A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. Harmful Algae. 2016. Vol. 54. P. 4-20.

10. **Li J., Li R.** Current research scenario for microcystins biodegradation – A review on fundamental knowledge, application prospects and challenges // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 595. P. 615-632.

11. **Fagan R., Cormack D.E., Dionysiou D.D., Pillai S.C.** A review of solar and visible light active TiO<sub>2</sub> photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern // Materials Science in Semiconductor Processing. 2016. Vol. 42. P. 2-14.

12. SP100.13330.2016. A set of rules. reclamation systems and structures. The reclamation systems and construction updated version of snip 2.06.03-85. Update date 01.01.2021. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747638.htm>

#### About the authors

**Otari N. Didmanidze**, Academician of the Russian Academy of Sciences, DSc (Tech), Professor; ORSID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; [didmanidze@rgau-msha.ru](mailto:didmanidze@rgau-msha.ru)

**Alexey V. Evgrafov**, DSc (Tech), associate professor; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; [labpoliv@list.ru](mailto:labpoliv@list.ru)

**Dmitry A. Moskvichev**, CSc (Tech); AuthorID, 964662; Sciences; [moskvichev@rgau-mcha.ru](mailto:moskvichev@rgau-mcha.ru)

**Stanislav I. Kharitonov**, ORSID: 0000-0001-8891-4568, AuthorID: 835849; [s9169645595@yandex.ru](mailto:s9169645595@yandex.ru)

**Andrey Yu. Kulchev**, ORSID: 0000-0002-1885-8959, AuthorID: 1118272; [andreykulchev@rambler.ru](mailto:andreykulchev@rambler.ru)

Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., Kharitonov S.I., Kulchev A.Y. carried out practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

УДК 631.61-3.03: 004.94 504.4.062.2

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-13-20>



## ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗРИСКОВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Н.С. Севрюгина<sup>1✉</sup>, А.С. Апатенко, И.Г. Голубев

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, ул. Прынишникова, 14/7, Россия

<sup>2</sup> Росинформагротех; 141261, Московская область, Пушкинский р-н, р.п. Правдинский, ул. Лесная, 60, Россия

**Аннотация.** Целью исследований явилась разработка концепции создания цифровой копии инфраструктуры мелиоративного комплекса и модели управления с учетом прогнозирования рисков отказов и помощи управления функционирования в случае возникновения нештатных или аварийных ситуаций. Выделена значимость безаварийного функционирования мелиоративного комплекса в структуре безрисковой сельскохозяйственной деятельности. Дано обоснование возможностей исключения возникновения нештатных ситуаций при работе мелиоративного комплекса путем внедрения непрерывного контроля состояния всех систем с использованием современных технологий. Обоснована актуальность разработки концепции создания цифровой копии инфраструктуры мелиоративного комплекса и модели управления с учетом прогнозирования рисков отказов и помощи управления функционирования в случае возникновения нештатных или аварийных ситуаций. Анализ концептуальных моделей показал, что наиболее информативной и реализуемой следует принимать пятимерную модель цифрового образа объекта с включением беспроводной интеграции данных для автономного управления процессами. Технология беспроводной интеграции позволяет управлять процессом, сокращая время разрыва между ожидаемыми и текущими условиями эксплуатации на физическом уровне. Предлагается информационный модуль мелиоративного комплекса представить в виде 3 блоков: блок строительства объекта, блок поддержания работоспособного состояния, блок эксплуатации. Ключевым показателем сформированности цифрового образа принято масштабирование данных по определению ограничений и проблем в каждом периоде жизненного цикла мелиоративного комплекса с выделением функции оптимизации. Принято решение о целесообразности перевода системы оповещения в автономный режим с включением компонентов автоматического регулирования. В качестве примера представлен алгоритм контроля функционирования компонентного элемента мелиоративного комплекса, щитового затвора. Сформирован алгоритм типовой модели цифрового двойника с модулем беспроводной интеграции прогнозирования и выявления аномалии в форме рисков отказов, нарушения безопасности, возникновения нештатных или аварийных ситуаций функционирования отдельных элементов мелиоративного комплекса в режиме реального времени на всем сроке службы систем.

**Ключевые слова:** мелиоративный комплекс, эффективность функционирования, управление рисками, компьютерная модель, цифровой образ, отказы оборудования, контроль, информативность

**Формат цитирования:** Севрюгина Н.С., Апатенко А.С., Голубев И.Г. Цифровые модели контроля и управления безрискового функционирования мелиоративного комплекса // Природообустройство. 2024. № 3. С. 13-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-13-20>

Scientific article

## DIGITAL MODELS OF CONTROL AND MANAGEMENT OF RISK-FREE OPERATION OF THE RECLAMATION COMPLEX

N.S. Sevryugina<sup>1✉</sup>, A.S. Apatenko<sup>1</sup>, I.G. Golubev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Mechanics and Energy named after V.P. Goryachkin; 14/7 Pryanishnikova str., Moscow, 127434, Russia

<sup>2</sup> Rosinformagrotech, 141261, Moscow region, Pushkinsky district, R.P. Pravdinsky, Lesnaya str., 60, Russia

**Abstract.** The purpose of the work: – development of the concept of creating a digital copy of the infrastructure of the reclamation complex and a management model, taking into account

the prediction of failure risks and the assistance of the management of functioning in case of emergency or emergency situations. The importance of accident-free functioning of the reclamation complex in the structure of risk-free agricultural activity is highlighted. The substantiation of the possibilities of eliminating the occurrence of emergency situations during the operation of the reclamation complex by introducing continuous monitoring of the condition of all systems using modern technologies is given. The relevance of the development of the concept of creating a digital copy of the infrastructure of the reclamation complex and a management model is substantiated, taking into account the prediction of failure risks and the help of operation management in case of emergency or emergency situations. The analysis of conceptual models has shown that the most informative and feasible should be a five-dimensional model of the digital image of an object with the inclusion of seamless data integration for autonomous process management. Seamless integration technology allows you to manage the process, reducing the time gap between expected and current operating conditions at the physical level. It is proposed to present the information module of the reclamation complex in the form of 3 blocks: a block for the construction of an object, a block for maintaining a working condition, and an operation block. A key indicator of the formation of a digital image is the scaling of data to identify limitations and problems in each period of the life cycle of a reclamation complex, highlighting the optimization function. A decision was made on the expediency of switching the notification system to an autonomous mode with the inclusion of automatic control components, as an example, an algorithm for monitoring the functioning of a component element of a reclamation complex, a shield gate, an algorithm for a typical digital twin model with a module for seamless integration of forecasting and detecting anomalies in the form of failure risks, security violations is presented, the occurrence of abnormal or emergency situations of the functioning of individual elements of the reclamation complex in real time throughout the entire service life of the systems.

**Keywords:** reclamation complex, operational efficiency, risk management, computer model, digital image, equipment failures, control, informativeness

**Format of citation:** Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Golubev I.G. Digital models of control and management of risk-free functioning of a reclamation complex // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 13-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-13-20>

**Введение.** Значимость функционирования мелиоративного комплекса для эффективного ведения сельскохозяйственной деятельности определяется спецификой ведения работ. Сельскохозяйственные поля должны быть обеспечены достаточным источником влаги, а при его избытке – эффективной системой отведения, что позволяет перевести растениеводство в категорию низкорискового производства [1]. Чтобы это обеспечить, все компоненты мелиоративного комплекса должны быть надежными и исправно функционировать. Работоспособность и долговечность работы мелиоративного комплекса обеспечиваются периодическим обслуживанием и ремонтом по потребности. Следует отметить, что хотя данный подход риски снижает, но он не исключает возникновения нештатных или аварийных ситуаций [2].

Согласно статистическим данным в настоящее время в федеральной собственности имеется более 34,3 тыс. мелиоративных сооружений, том числе 232 водохранилища, более 2 тыс. регулирующих и распределительных гидроузлов, 134 речные плотины, 1,8 тыс. подающих и откачивающих насосных станций, 42,3 тыс. км магистральных

водопроводящих и водобросных каналов, свыше 3 тыс. км защитных дамб и валов [3].

Современные технологии позволяют исключить возникновение нештатных ситуаций в работе элементов мелиоративного комплекса путем внедрения системы непрерывного контроля состояния всех систем [4, 5]. Представляется, что наиболее эффективными организационными мерами может быть использование цифровых технологий с включением аналитических элементов предсказательного прогнозирования рисков отказов [6].

**Цель исследований:** разработка концепции создания цифровой копии инфраструктуры мелиоративного комплекса и модели управления с учетом прогнозирования рисков отказов и помощи управления функционирования в случае возникновения нештатных или аварийных ситуаций.

Для достижения поставленной цели требуется решить задачи, заключающиеся в разработке технологий создания цифровых копий мелиоративных комплексов для мониторинга работоспособности компонентов, проведения анализа безопасности и оценки рисков.

Требуется дать аналитическое обоснование механизма определения и характеристики набора уникальных требований и ожидаемых результатов оптимизации функционирования мелиоративных комплексов.

#### **Материалы и методы исследований.**

Анализ имеющихся разработок в области создания цифровых двойников охватывает практически все сферы народнохозяйственной деятельности в мире. При всем разнообразии следует отметить общность решаемых задач – в частности, применения цифровых двойников в производственных системах при дополнении технологий индустрии 4.0 и интеллектуализации процессов [7], при создании приложений технического обслуживания [8], задач прогнозирования и управления ресурсом сложных систем [9], структурного моделирования процессов жизненного цикла, эффективности эксплуатации [10] и пр. [11, 12].

Проведенный анализ не дает четких рекомендаций по технологиям применения цифровых двойников для АПК – в частности, мелиоративных систем и комплексов.

*Теория моделирования виртуального образа физического объекта и характеристика потоков обмена данными.* Для создания зеркальной копии инфраструктурных объектов мелиоративного комплекса следует использовать типовые концептуальные модели, включающие в себя развернутое описание составляющих объектов и их взаимосвязи, выделяя:

– *физический объект (PO)*, представляющий собой отдельный укрупненный компонент или сложную систему с несколькими взаимодействующими компонентами. Для получения полной и исчерпывающей информации о физическом объекте данные формируются путем интеграции нескольких методов сбора данных;

– *цифровой объект (VO)* – совокупность моделей и модулей, имитирующих состояние физического объекта и его изменение во времени. Следует учитывать удаленность расположения объектов мелиоративного комплекса, их территориальную разобщенность, что не позволяет иметь достаточную информацию, а это в свою очередь усложняет процесс моделирования и увеличивает вариативность использования цифрового образа в описании ожидаемых функций;

– *процесс двойственности*, обеспечивающий соответствие беспроводной интеграции и обратной связи между физическим и цифровым объектами. Взаимосвязь обеспечивает обмен информацией и выполняет функции мониторинга

и контроля. Процесс двойственности характеризует требования к взаимодействиям в соответствии с ожидаемыми характеристиками в алгоритме «Физическое-виртуальное» (P2V) и «Виртуальное-физическое» (V2P) соответственно.

Принято считать наиболее эффективными концептуальные модели с учетом объемного описания – это трехмерная и пятимерная модели.

*Трехмерная модель* [12] включает в себя компоненты физического, виртуального объектов, реверсность обмена данными для осуществления управляющих воздействий, создает замкнутый контур обратной связи.

Трехмерная модель ограничена по информационной составляющей и не позволяет решить задачи учета факторного разнообразия влияний, характерного для объектов мелиоративного комплекса.

*Пятимерная модель* [7] дополняет трехмерную модель итеративным процессом оптимизации, то есть состоит из физической системы (PS), цифровой системы (VS), механизма обновления (P2V), механизма прогнозирования (V2P) и механизма оптимизации (OPT). Модель контролирует механизм обновления системы на основе полученных данных, прогнозируя будущее состояние физического объекта через виртуальный образ; получение прогнозного решения через обратную передачу управляющих воздействий на физический объект посредством исполнительных механизмов. В свою очередь, интеллектуальный блок обеспечивает корректировку технического состояния конструкции, механизм оптимизации, через информационный банк оценивает вариативность возможностей состояния и корректирует цифрового двойника, обеспечивая точность принятия решения.

*Процесс двойственности* в алгоритме «Физическое-виртуальное» (P2V) включает в себя две фазы: фазу метрологии – оценки состояния физического объекта; фазу реализации – количественное определение отклонений между физическим и цифровым объектами и механизм обновления виртуального образа. Преимущество данного подхода заключается в использовании технологии беспроводной интеграции, то есть не требуется вмешательство человека в процесс принятия решения до заданного момента критического функционирования включая процесс анализа безопасности, оценки рисков и управления в чрезвычайных ситуациях.

Следует учитывать, что при формировании информационной базы данные могут содержать несколько сигналов, характеризующихся разным разрешением и точностью. При этом

не исключается наличие ложных, противоречивых или неполных данных. Обработка и анализ информации позволяют модифицировать реальные объекты по признакам параметрической и функциональной оптимизации [13].

*Метод объединения данных* включает в себя три фазы (объединение данных, оценку состояния и объединение на уровне принятия решения):

- объединение данных направлено на установление согласованности между параметрическими значениями во времени для классификации и отладки цифрового образа. Наибольшую эффективность показывает беспроводная интеграция, при которой требуются распознавание обучающих и реальных данных, их генерация для адаптации в целевой функции, способность поддерживать задачи прогнозирования и выявлять аномалии в форме рисков отказов, нарушения безопасности, возникновения нештатных или аварийных ситуаций;

- оценка состояния дает возможность учета вариативности состояний объекта по доступным данным и полученным измерениям. Решается задача наполнения информационного банка логическими цепочками, «фреймами истинности» (выделение значений переменных состояния и параметров, наилучшим образом соответствующих наблюдаемым данным). Для повышения точности оценки состояния могут использоваться комбинированные методы модального анализа и байесовского моделирования;

- объединение на уровне принятия решений выполняет высокоуровневые выводы о состоянии физического объекта и его функциональности в данный отрезок времени.

Метод объединения данных в информационной базе создает фрейм с учетом отклонений и ограничений функционирования, то есть собирает информацию факторного влияния как внешней, так и внутренней среды объекта [14].

Следующим этапом является *обоснованность принятия решения* и включение в систему функциональных опций управления с возможностью корректировки состояния физическим воздействием, то есть создание взаимосвязи «Виртуальное-физическое» (V2P) при обеспечении прогнозирования, возможного после установки конфигуратора программируемых логических контроллеров (PLC).

Далее устанавливается уровень несоответствия между требуемым и текущим состоянием физического объекта, когда возможен вариант имитации состояния через реализацию функционала «цифровой тени».

«Цифровая тень» – это цифровой объект с автономным подключением к физическому объекту с реверсным потоком данных от физического к виртуальному объекту непрерывно, а в обратном направлении – с прерыванием. В рассматриваемом варианте цифровой модуль только имитирует состояние физического объекта в режиме реального времени без управляющих воздействий.

Технология беспроводной интеграции позволяет управлять процессом, сокращая время разрыва между ожидаемыми и текущими условиями эксплуатации на физическом уровне.

Алгоритм передачи потока данных между физическим и виртуальным объектами представлен на схеме рисунка 1.

**Результаты и их обсуждение.** *Концепция характеристики архитектурной структуры цифровых двойников инфраструктуры мелиоративных комплексов.* Структурные составляющие мелиоративных комплексов представляют собой взаимосвязанные гидротехнические сооружения и устройства – такие, как каналы, коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины, дамбы, насосные станции, водозаборы и прочие компоненты. При создании цифрового образа мелиоративного комплекса следует исходить из долгосрочности функционирования инфраструктурных объектов.

Предлагается информационный модуль мелиоративного комплекса представить в виде трех блоков: блок строительства объекта; блок поддержания работоспособного состояния; блок эксплуатации (рис. 2).

Для первого модуля, несмотря на информационную очевидность параметрических данных,

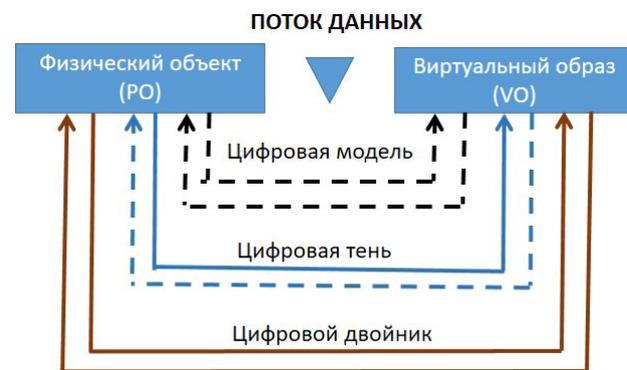


Рис. 1. Варианты схем взаимосвязи цифровых моделей, форм потоков обмена данными между физическим объектом и его виртуальным образом

Fig. 1. Options for diagrams of interconnection of digital models, forms, flows, data exchange between a physical object and its virtual image



Рис. 2. Функциональные блоки этапов жизненного цикла мелиоративных комплексов:  
 I – этап строительства; II – этап поддержания работоспособного состояния;  
 III – этап штатного функционирования

Fig. 2. Functional blocks of the stages of the life cycle of reclamation complexes:  
 I – construction stage; II – stage of maintenance of operable condition; III – stage of normal operation

то есть наличие нормативной и проектно-проектировочной документации, введение в информационный банк данных характеристик компонентов мелиоративного комплекса не даст реальной картины физического состояния существующих конструкций [15]. Соответственно требуется провести предварительный сбор данных об уровне соответствия нормативных и фактических параметров состояния мелиоративного комплекса.

Второй блок следует дополнить информацией о техническом состоянии мелиоративных систем, об уровне их загрязнения, разработать механизм учета степени внешнего воздействия на его функциональные характеристики.

Третий этап включает в себя условия эксплуатации по показателям эффективности и достаточности водной составляющей для выполнения функциональных задач мелиоративных систем по заложенным способам орошения земель.

Разработка цифрового образа мелиоративных систем строилась как пятимерная модель. За ключевой показатель сформированности принято масштабирование данных по определению ограничений и проблем в каждом периоде жизненного цикла мелиоративного комплекса с выделением функции оптимизации: контроль безопасности, оценка рисков и управление в чрезвычайных ситуациях.

Параметрическая характеристика мелиоративного комплекса включает в себя информационный блок данных. Например, для контроля процесса управления водоподачи на оросительных системах функция базы данных состоит из параметров [16]:

$$F\left(Q_v; \sum_{j=1}^n q_t; k; \eta; w_{ji}; \Delta Q_i; t\right), \quad (1)$$

где  $Q_v$  – расход оросительной системы,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\sum_{j=1}^n q_t$  – плановые значения водоподачи,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $k$  – коэффициент спроса;  $\eta$  – КПД оросительной системы;  $w_{ji}$  – емкость резервуара в целом и отдельного участка соответственно,  $\text{м}^3$ ;  $\Delta Q_i$  – факторы влияния;  $t$  – время, с.

В приведенном примере виртуальная модель записывается алгоритмом логических условий:

$$f_1 = Q_v \geq \frac{\sum_{j=1}^n q_t k}{\eta} \wedge (w_j > w_i) \wedge (\sum w_i \geq \Delta Q_i t); \quad (2)$$

$$f_2 = Q_v \geq \frac{\sum_{j=1}^n q_{max} k}{\eta} \wedge (w_j^i > w_i) \wedge (\sum w_i \geq \Delta Q_i t). \quad (3)$$

Заданные логические условия характеризуют работу оросительной системы в штатном режиме как при плановом режиме водоподачи, так и для максимального водозабора.

Цифровая модель позволяет оптимизировать штатный режим работы мелиоративной системы, а для нештатных ситуаций требуется дополнить систему управляющими компонентами. Для снижения рисков отказов систему оповещения логичнее перевести в автономный режим и включить компоненты автоматического регулирования. В качестве примера представлен алгоритм контроля функционирования компонентного элемента мелиоративного комплекса, щитового затвора (рис. 3).

Пятимерная модель позволяет в режиме реального времени выполнять мониторинг системы, оценивать и прогнозировать ее техническое состояние путем включения в систему блока управления щитовым затвором. Алгоритм управления щитовым затвором в режиме реального времени с применением пятимерной модели представлен на рисунке 4.

Оптимизация функционирования мелиоративного комплекса для прогнозирования и выявления аномалии в форме рисков отказов, нарушения безопасности, возникновения нештатных или аварийных ситуаций включает в себя алгоритмы беспшовной интеграции, последовательных действий.



Рис. 3. Типовая модель формирования цифрового двойника мелиоративного комплекса на примере контроля функционирования щитового затвора

Fig. 3. A typical model for the formation of a digital twin of a reclamation complex on the example of monitoring the functioning of a shield gate



Рис. 4. Алгоритм управления щитовым затвором в режиме реального времени с применением пятимерной модели цифровой копии

Fig. 4. Real-time control algorithm for panel gate using a five-dimensional digital copy model

При контроле уровня безопасности и ситуационного анализа требуется включать алгоритмы:

- расчет факторов, влияющих на безопасность;

- уровень эффективности модели оценки безопасности;
- анализ стабильности информационного банка и факторного воздействия;
- идентификация опасных воздействий и аварий;
- система визуального оповещения в режиме реального времени;
- методы контроля безопасности для технологических процессов различных этапов жизненного цикла;
- мониторинг и анализ безопасности.

При оценке рисков алгоритм решает следующие задачи:

- идентификация рисков;
- количественная оценка рисков;
- диагностика и прогнозирование рисков;
- мониторинг и контроль рисков.

Принятие решения в нестандартных и/или чрезвычайных ситуациях (ЧС):

- модель отслеживания решений для управления безопасностью в ЧС;
- модель ситуационного оповещения во время ЧС;
- модель интеллектуального управления системой в период ЧС.

## Выводы

Представлен критический обзор моделей создания цифровых двойников для их применения в оптимизации процессов функционирования инфраструктурных объектов мелиоративного комплекса, анализа безопасности, оценки рисков и управления в нештатной или аварийной ситуации.

Анализ концептуальных моделей показал, что за наиболее информативную и реализуемую следует принимать пятимерную модель цифрового образа объекта с включением бесшовной интеграции данных для автономного управления процессами.

## Список использованных источников

1. **Севрюгина Н.С., Апатенко А.С., Войтович Е.В.** Риски экосистемы при функционировании водохозяйственных комплексов // Природообустройство. 2020. № 2. С. 115-122. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-2-115-122. EDN: BJVTGX.
2. **Севрюгина Н.С.** Инфографическая модель комплексной безопасности транспортных и технологических машин // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 6. С. 72-74. EDN: NVVNFL.
3. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: Информационное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.
4. **Голубев И.Г., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С.** Состояние и перспективы вовлечения залежных земель в оборот // Мелиорация. 2021. № 3 (97). С. 67-74. EDN: SYRHE.
5. **Голубев И.Г., Мишуров Н.П., Голубев В.В. и др.** Передовые практики введения залежных земель в оборот. М.: Росинформагротех, 2021. 80 с. EDN: PFVVEL.
6. **Юрченко И.Ф.** Автоматизация управления формированием мелиоративного состояния агроэкосистем // Природообустройство. 2019. № 4. С. 15-22. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-4-15-22. EDN: NTTEVP.
7. **Tao F., Qi Q.** Make more digital twins // Nature. 2019. Т. 573, № 7775. С. 490-491. DOI: 10.1038/Д41586-019-02849-1.
8. **Errandonea I., Beltrán S., Arrizabalaga S.** Digital Twin for maintenance: A literature review // Computers in Industry. 2020. Т. 123. С. 103316. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103316.
9. **Agnusdei G.P., Elia V., Gnoni M.G.** Is digital twin technology supporting safety management? A bibliometric and systematic review // Applied Sciences. 2021. Т. 11, № 6. С. 2767. DOI: 10.3390/app11062767.
10. **Jones D. et al.** Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // CIRP journal of manufacturing science and technology. 2020. Т. 29. С. 36-52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
11. **Enrico Zio, Leonardo Miqueles.** Digital twins in safety analysis, risk assessment and emergency management, Reliability Engineering & System Safety. 2024. Vol. 246. P. 110040. <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110040>.
12. **Grieves M.** Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication // White paper. 2014.

Представлен перечень ожидаемых функций и технологий, обеспечивающих совместное использование физического и цифрового объектов, алгоритм выделения ограничений и факторной неопределенности при оптимизации. Определены вспомогательные методы и технологии, модальные функции для создания приложений анализа безопасности, оценки рисков и управления в чрезвычайных ситуациях. Сформирован алгоритм типовой модели цифрового двойника мелиоративного комплекса на примере контроля функционирования щитового затвора.

## References

1. **Sevryugina N.S.** Ecosystem risks during the functioning of water management complexes / N.S. Sevryugina, A.S. Apatenko, E.V. Voitovich // Prirodoobustrojstvo. 2020. No. 2. P. 115-122. – DOI 10.26897/1997-6011/2020-2-115-122. – EDN BJVTGX.
2. **Sevryugina N.S.** Infographic model of integrated safety of transport and technological machines / N.S. Sevryugina // Labor safety in industry. 2011. No. 6. P. 72-74. – EDN NVVNFL.
3. Land reclamation complex of the Russian Federation: information. Edition. – M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020. 304 p.
4. **Golubev I.G., Apatenko A.S., Sevryugina N.S.** Status and prospects for the involvement of fallow lands in circulation // Melioration. 2021. No. 3 (97). P. 67-74. – EDN SYRHE.
5. **Golubev I.G., Mishurov N.P., Golubev V.V. [et al.]** Best practices for introducing fallow lands into circulation. Moscow: Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex. 2021. 80 p. – ISBN 978-5-7367-1638-8. – EDN PFVVEL.
6. **Yurchenko I.F.** Automation of control over the formation of the reclamation state of agroecosystems / I.F. Yurchenko // Prirodoobustrojstvo. 2019. No. 4. P. 15-22. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-15-22. – EDN NTTEVP.
7. **Tao F., Qi Q.** Make more digital twins // Nature. 2019. Т. 573. №. 7775. – С. 490-491. DOI: 10.1038/Д41586-019-02849-1
8. **Errandonea I., Beltrán S., Arrizabalaga S.** Digital Twin for maintenance: A literature review // Computers in Industry. 2020. Т. 123. С. 103316. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103316
9. **Agnusdei G.P., Elia V., Gnoni M.G.** Is digital twin technology supporting safety management? A bibliometric and systematic review // Applied Sciences. – 2021. Т. 11. №. 6. С. 2767. DOI: 10.3390/app11062767
10. **Jones D. et al.** Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // CIRP journal of manufacturing science and technology. 2020. Т. 29. С. 36-52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002
11. **Enrico Zio, Leonardo Miqueles,** Digital twins in safety analysis, risk assessment and emergency management, Reliability Engineering & System Safety, Volume 246, 2024, 110040, ISSN0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110040>

Т. 1, № 2014. С. 1-7. <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTSSERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf>.

13. Встраиваемая мультиплексная цифровая система мониторинга машин природообустройства / Н.С. Севрюгина, Е.В. Рузанов, М.А. Матвеев, А.С. Апатенко // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XI Международной научно-практической интернет-конференции, п. Правдинский, 5-7 июня 2019 г. Правдинский: Росинформагротех, 2019. С. 378-383. EDN: XHCIB.

14. **Apatenco A.S., Sevryugina N.S.** Methods of recruiting of mobile repair services and maintenance of machines performing reclamation works // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroymeh-2019, ISM 2019, Kazan, 12-13 сентября 2019 г. Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 786. P. 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012037. EDN: SEDJPG.

15. **Севрюгина Н.С., Капырин П.Д.** Эффективность выбора средств механизации строительных и специальных строительных работ // Механизация строительства. 2017. Т. 78, № 11. С. 59-64. EDN: ZSHHHP.

16. **Кирейчева Л.В., Яшин В.М.** Формирование эволюционирующего мелиоративного режима на орошаемых землях // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 6-1 (96). С. 140-144. DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.025. EDN: NRHWPR.

12. **Grieves M.** Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication // White paper. 2014. Т. 1. №. 2014. С. 1-7. <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf>

13. Embedded multiplex digital system for monitoring environmental management machines / N.S. Sevryugina, E.V. Ruzanov, M.A. Matveenko, A.S. Apatenko // Scientific and information support for innovative development of the agro-industrial complex: materials of the XI International Scientific and Practical Internet conference, Pravdinsky village, June 05-07, 2019. – p. Pravdinsky: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex, 2019. P. 378-383. – EDN XHCIB.

14. **Apatenko A.S.** Methods of recruiting of mobile repair services and maintenance of machines performing reclamation works / A.S. Apatenco, N.S. Sevryugina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroymeh – 2019, ISM 2019, Kazan, 12-13 сентября 2019 года. Vol. 786. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012037. – DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012037. – EDN SEDJPG.

15. **Sevryugina N.S.** Efficiency of choosing means of mechanization of construction and special construction works / N.S. Sevryugina, P.D. Kapyrin // Mechanization of construction. 2017. V. 78, No. 11. P. 59-64. – EDN ZSHHHP.

16. **Kireycheva L.V.** Formation of an evolutionary reclamation regime on irrigated lands / L.V. Kireycheva, V.M. Yashin // International scientific research journal. 2020. No. 6-1(96). P. 140-144. – DOI 10.23670/IRJ.2020.96.6.025. – EDN NRHWPR.

#### Об авторах

**Надежда Савельевна Севрюгина**, д-р техн. наук, доцент, AuthorID: 144506; <https://orcid.org/0000-0002-3494-1437>; sevryuginans@rgau-msha.ru

**Алексей Сергеевич Апатенко**, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой; AuthorID: 261571; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; a.apatenko@rgau-msha.ru

**Иван Григорьевич Голубев**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник; AuthorID: 299734; <https://orcid.org/0000-0002-3754-0380>; golubev@rosinformagrotech.ru

#### About the authors

**Nadezhda S. Sevryugina**, DSc (Eng), associate professor, AuthorID: 144506; <https://orcid.org/0000-0002-3494-1437>; sevryuginans@rgau-msha.ru

**Alexey S. Apatenko**, DSc (Eng), associate professor, head of the department; AuthorID: 261571; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; a.apatenko@rgau-msha.ru

**Ivan G. Golubev**, DSc (Eng), professor, chief researcher; AuthorID: 299734; <https://orcid.org/0000-0002-3754-0380>; golubev@rosinformagrotech.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Севрюгина Н.С., Апатенко А.С., Голубев И.Г., выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 15.05.2024

Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Golubev I.G. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>

УДК 633.34:575.224



## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ СОИ РАЗЛИЧНОГО ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

М.Е. Бельшкіна

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты агроэкологических испытаний сортов различного эколого-географического происхождения в условиях Рязанской области. Проанализированы агроклиматические характеристики региона возделывания и установлены параметры сортовой реакции на условия влагообеспеченности вегетационного периода. В последние несколько десятилетий на территории Рязанской области фиксируется локальное потепление климата с возрастанием количества засушливых лет. За годы проведения исследований температурные значения превышали среднеголетние на 2-6°C, суммы активных температур в среднем составили 2400-2600°C, количество выпадающих осадков за вегетацию варьировало в интервале 255-265 мм, при этом значение ГТК в среднем составило 0,7-1,1. Продолжительность вегетационного периода изучаемых сортов в годы с оптимальной влагообеспеченностью (ГТК 0,7-1,4) составила 95-105 дней, при недостатке влаги – 78-95 дней, при избыточном увлажнении – 98-125 дней. На урожайность сои оказывает непосредственное влияние влагообеспеченность в критические для нее периоды бутонизации-цветения- образования плодов. С ростом температурных значений и снижением количества выпавших осадков закономерно снижается урожайность. Количество осадков, выпавших в июле, было критически значимым для сортов сои северного экотипа, на генеративное развитие и последующую семенную продуктивность южных и дальневосточных сортов оказывали существенное влияние осадки в августе. Целью исследований являлось определение реакции сортов сои различного эколого-географического происхождения на условия влагообеспеченности в Центральном Нечерноземье. Таким образом, чтобы снизить риски недополучения потенциально возможной урожайности в разные по агрометеорологическим условиям годы, рекомендуется наполнять ассортимент сортами разного эколого-географического происхождения, которые способны стабильно вызревать в регионе, а также при оптимальных агроклиматических условиях обеспечивать высокую урожайность и сбор белка с единицы площади.

**Ключевые слова:** влагообеспеченность вегетационного периода, соя (*Glycine hispida* L.), сорта, агроэкологические испытания, Центральное Нечерноземье, агрометеорологические условия, продуктивность

**Формат цитирования:** Бельшкіна М.Е. Влияние условий влагообеспеченности вегетационного периода на продуктивность сортов сои различного эколого-географического происхождения в условиях Центрального Нечерноземья // Природообустройство. 2024. № 3. С. 21-30. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>

Scientific article

## THE INFLUENCE OF MOISTURE AVAILABILITY CONDITIONS OF THE GROWING SEASON ON THE PRODUCTIVITY OF SOYBEAN VARIETIES OF VARIOUS ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ORIGIN IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION

M.E. Belyshkina

Federal Scientific Agro engineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia

**Abstract.** The article presents the results of agroecological tests of varieties of various ecological and geographical origins in the conditions of the Ryazan region. The agro-climatic characteristics

of the cultivation region are analyzed and the parameters of the varietal reaction to the conditions of moisture availability of the growing season are established. Over the past few decades, local climate warming has been recorded in the Ryazan region with an increase in the number of dry years. Over the years of research, temperature values exceeded the long-term average by 2-6°C, the sum of active temperatures averaged 2400-2600°C, the amount of precipitation during the growing season varied in the range of 255-265 mm, while the value of the GTC averaged 0.7-1.1. The duration of the growing season of the studied varieties in years with optimal moisture availability (GTC0.7-1.4) was 95-105 days, with a lack of moisture – 78-95 days, with excessive moisture – 98-125 days. The yield of soybeans is directly affected by moisture availability during the critical periods of budding – flowering – fruit formation. With an increase in temperature values and a decrease in the amount of precipitation, yields naturally decrease. The maximum yield of soybeans reaches at a temperature of 20-24°C and precipitation of 100-120 mm in the period R1–R6 (flowering – full filling of seeds). The most precocious soybean varieties were of the northern ecotype, followed by southern and Far Eastern varieties. The amount of precipitation that fell in July was critically significant for soybean varieties of the northern ecotype, the generative development and subsequent seed productivity of southern and Far Eastern varieties were significantly influenced by precipitation in August. The purpose of the research was to determine the reaction of soybean varieties of different ecological and geographical origin to the conditions of moisture supply in the Central Non-Black Earth Region. Thus, in order to reduce the risks of loss of potential yields in years different in agrometeorological conditions, it is recommended to fill the assortment with varieties of different ecological and geographical origin that are able to mature stably in the region, as well as under optimal agro-climatic conditions to ensure high yields and protein harvesting per unit area.

**Keywords:** soybeans (*Glycine hispida* L.), varieties, agroecological tests, Central Non-Chernozem region, agrometeorological conditions, productivity

**Format of citation:** Belyshkina M.E. The influence of moisture availability conditions of the growing season on the productivity of soybean varieties of various ecological and geographical origin in the conditions of the Central Non-Chernozem region // *Prirodoobustrojstvo*. 2024. No.3. P. 21-30. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>

**Введение.** В связи с глобальным и локальным потеплением климата сумма активных температур в Центральном Нечерноземье возросла в среднем на 200-250°С, граница соеводства сдвинулась на 200-250 км в сторону высоких широт, что расширило возможности возделывания сои в этой зоне и позволило увеличить ассортимент сортов, в том числе за счет скороспелых сортов дальневосточной и южной селекций [1-3].

Аридизация климата Центрального Нечерноземья, произошедшая на фоне его потепления, проявившаяся в уменьшении суммы осадков за вегетацию на 180-200 мм и увеличении продолжительности засушливых периодов, свидетельствует о необходимости уделять более пристальное внимание решению вопросов влагообеспеченности культуры [4-6]. Известно, что у сои недостаток влаги, особенно в критический период водопотребления (от фазы цветения до фазы полного налива семян), отрицательно сказывается на всем продукционном процессе, величине урожая и его качестве [7-9].

**Цель исследований:** определить реакцию сортов сои различного эколого-географического происхождения на условия влагообеспеченности в Центральном Нечерноземье.

#### Материалы и методы исследований.

Исследования по агроэкологическому испытанию раннеспелых сортов сои проводились в 2008-2020 гг. на экспериментальной базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», расположенного в Рязанском районе, с. Подвязье. Почва опытного участка – темно-серая лесная, тяжело-суглинистая. Реакция почвенного раствора рН<sub>сол</sub> (ГОСТ 26483) – 5,2; содержание гумуса по методу Тюрина (ГОСТ 26213) – 5,8%. Содержание подвижного фосфора по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011) – 191,4 мг/кг; содержание обменного калия по Масловой (ГОСТ 26210) – 108,5 мг/кг, азота нитратного – 8,4 мг/кг (ГОСТ 26951-86), азота аммонийного – 1,57 мг/кг почвы (ГОСТ 26489-85).

Изучались три группы сортов сои: северного экотипа (Магева, Окская, Светлая, Касатка, Георгия), полученные в Институте семеноводства и агротехнологий – филиале ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; южные (Лира, Аванта, Бара), полученные в ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени

В.С. Пустовойта» и ООО Компания «Соевый комплекс»; дальневосточные (Персона, Умка, Лидия, Грация), полученные в ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои».

Исследования выполнялись по общепринятым методикам [10]. Посев проводился в оптимальные сроки при прогревании почвы на глубине заделки семян на уровне 12-15°C. Способ посева – обычный рядовой с шириной междурядий 15 см, повторность – четырехкратная, густота стояния растений после всходов – 600 тыс. шт. растений на 1 га, размещение делянок – рендомизированное, площадь учетной делянки – 18 м<sup>2</sup>. Учет урожайности производился методом сплошной уборки с приведением урожая семян к стандартной 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте.

**Результаты и их обсуждение.** Ввиду достаточно существенных различий по степени влагообеспеченности вегетационного периода в результате подсчета суммарного ГТК за вегетацию были выделены три группы лет по степени влагообеспеченности вегетационного

периода: засушливые (ГТК < 0,7); близкие к оптимальным (ГТК 0,7-1,4); с избыточной влагообеспеченностью (ГТК > 1,4). Засушливые условия были зафиксированы в 2009, 2010, 2011, 2018, 2019 гг., близкими к оптимальным были условия 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 гг. вегетационных периодов, значительно реже фиксировались годы с избыточной влагообеспеченностью – 2008, 2020 гг.

В годы проведения исследований было отмечено превышение температурных значений над среднемноголетними в среднем на 2-6°C (рис. 1). Средняя температура за май-август составляла 19,0-21,0°C.

Таким образом, подтверждается гипотеза о постепенном повышении средних температур за вегетационный период. Суммы активных температур за вегетацию составляли в среднем за годы исследований около 2500°C, минимальное значение было зафиксировано в 2008 г. и составило 1824°C, максимальное – в 2010 г., составив 2919°C.

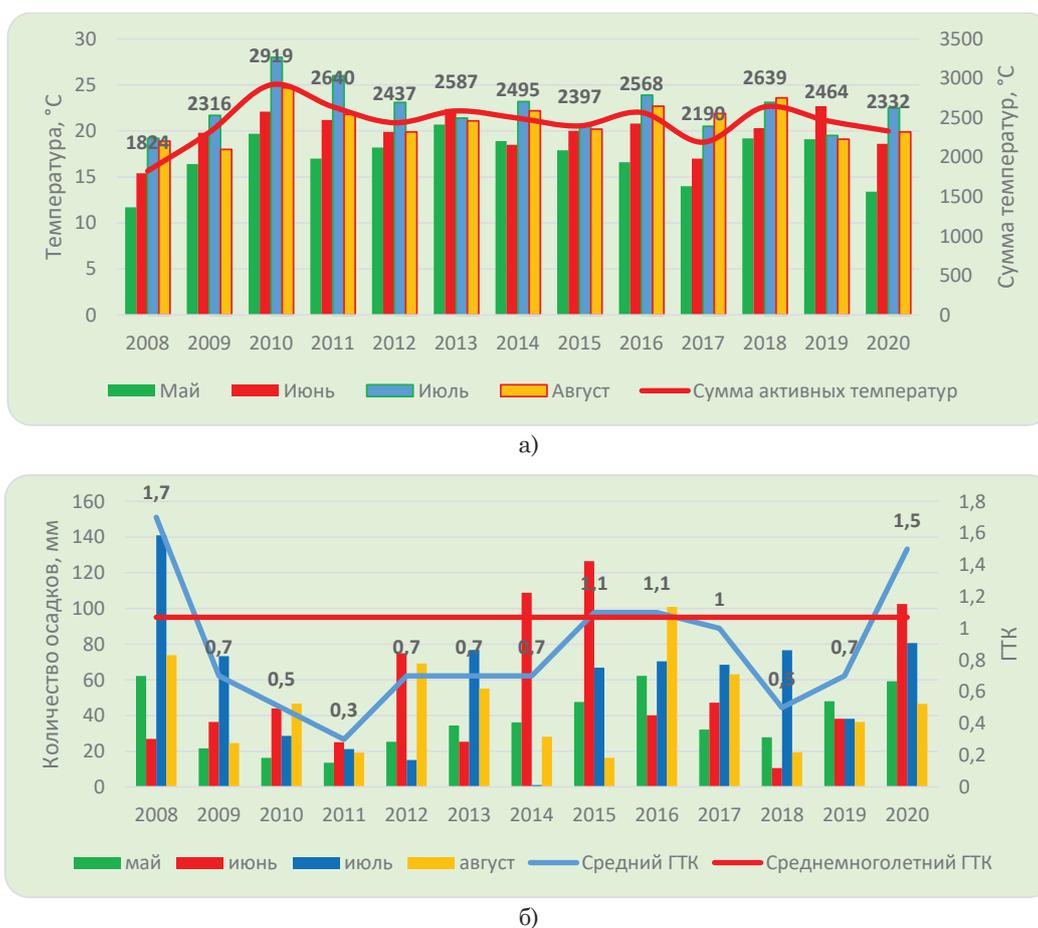


Рис. 1. Агрометеорологические условия в годы проведения исследований:

а) среднемесячные температуры воздуха и суммы активных температур;

б) суммы осадков и гидротермический коэффициент

Fig. 1. Agrometeorological conditions during the years of research:

a) average monthly air temperatures and amounts of active temperatures;

b) amounts of precipitation and hydrothermal coefficient

Количество выпавших осадков за вегетацию варьировало в интервале 255-265 мм, при этом средний ГТК составлял 0,7-1,1 (рис. 1). Наибольшее количество осадков было зафиксировано в 2008 г., когда в июле выпало 140 мм осадков, а в целом за вегетационный период, с мая по август, – 303 мм, при этом значение ГТК составило 1,7. Наименьшее количество осадков было зафиксировано в 2011 г., когда сумма осадков за вегетацию не превысила 80 мм, а значение ГТК составило 0,3.

Экстремально засушливым в регионе выдался 2010 г., когда в течение вегетационного периода среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнюю на 5-8°C, а среднее значение ГТК за вегетацию не превышало 0,5. В целом можно отметить, что в Рязанской области намечается тенденция аридизации климата, в годы с засушливыми условиями вегетационного периода значение ГТК варьировало от 0,31 до 0,89 (рис. 1).

Продолжительность вегетационного периода изучаемых сортов сои составляла в среднем 95-105 дней и значительно варьировала в зависимости от метеорологических условий года. Так, продолжительность периода от всходов до созревания могла отличаться в разные годы на 20-35 дней (рис. 2).

Самый короткий вегетационный период был у сортов сои северного экотипа, затем следовали южные сорта, наиболее продолжительной была вегетация у дальневосточных сортов. В годы с ГТК > 1,4 продолжительность

вегетационного периода составляла 98-125 дней, в то время как при дефиците влаги (ГТК < 0,7) вегетационный период у всех сортов сокращался до 78-95 дней.

В исследованиях были проанализированы особенности формирования урожая сои в зависимости от возникающих стрессовых агроклиматических условий вегетационного периода, особенно в критические периоды формирования урожая, к которым в первую очередь относится период цветения-формирования плодов [11-13]. В условиях достаточной влагообеспеченности высота растений к моменту наступления фазы цветения (R1) составляла в среднем по сортам 68-75 см, но были отмечены и сортовые различия, обусловленные особенностями морфологии растений (рис. 3).

Сорта северного экотипа достигали в среднем высоты 68-70 см, южные и дальневосточные – 95 см и более при благоприятных условиях увлажнения вегетационного периода. В годы с дефицитом осадков в начале вегетации высота растений вне зависимости от сортовых особенностей составляла 56-58 см, все сорта развивались по детерминантному типу роста.

Накопление сухой биомассы растениями сои к моменту завершения периода образования бобов на растениях является интегрирующим показателем при определении потенциальной урожайности семян [14, 15]. Неблагоприятные условия вегетационного периода, и прежде всего недостаток влаги, к завершению периода роста плодов могут привести к снижению индивидуальной

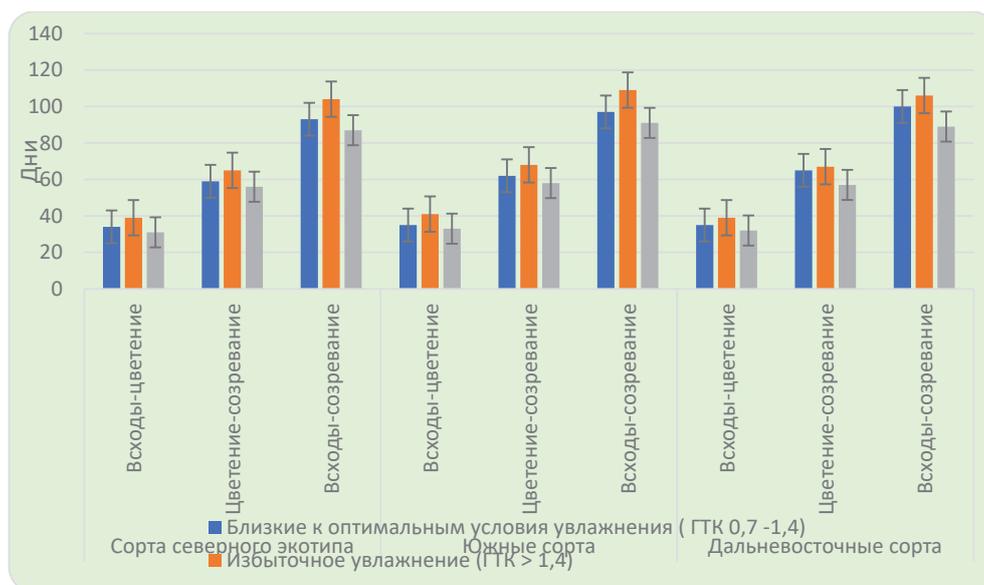


Рис. 2. Продолжительность вегетационного периода сортов сои различного эколого-географического происхождения в зависимости от условий влагообеспеченности

Fig. 2. The duration of the growing season of soybean varieties of various ecological and geographical origin depending on the conditions of moisture availability



Рис. 3. Динамика высоты растений сортов сои различного эколого-географического происхождения в разные по степени обеспеченности влагой годы  
 Fig. 3. The dynamics of the height of soybean varieties of various ecological and geographical origin in different degrees of moisture availability in years

продуктивности растения и снижению общей продуктивности в расчете на единицу площади [16].

Величина сухой биомассы к концу III периода варьировала по сортам и в зависимости от условий влагообеспеченности. При значениях ГТК, близких к оптимальным, сухая биомасса к концу налива семян достигала максимальных значений и составляла в среднем по группам сортов от 5,2 т/га у сортов северного экотипа до 5,7 т/га у южных сортов (рис. 4). В каждой группе можно выделить сорта, формирующие наибольшую сухую биомассу: среди сортов сои северного экотипа – Окская (5,4 т/га), среди южных – сорт Лири (5,6 т/га), среди дальневосточных – сорт Лидия (5,7 т/га).

В засушливых условиях вегетационного периода (ГТК < 0,7) величина сухой биомассы была практически в два раза ниже, чем при достаточной влагообеспеченности, и составляла к концу периода налива семян в среднем у сортов сои северного экотипа 3,2 т/га, у южных сортов – 3,7 т/га, у дальневосточных сортов – 3,5 т/га (рис. 4).

Наибольшую биомассу формировали в условиях оптимальной и избыточной влагообеспеченности южный сорт Лири (6,5-6,8 т/га), дальневосточный сорт Грация (6,3-6,5 т/га) и сорт северного экотипа Окская (5,7-6,0 т/га) (рис. 4).

Результатирующие показатели фотосинтетической деятельности растений сои в посевах при разных параметрах влагообеспеченности отражены в таблице. Максимальная площадь листьев среди всех групп сортов составила в среднем от 24,8 тыс. м<sup>2</sup>/га при засушливых условиях вегетационного периода до 43,0 тыс. м<sup>2</sup>/га при избыточной влагообеспеченности (табл.). Наибольшую

площадь листьев формировали дальневосточные сорта, далее следуют южные и сорта северного экотипа.

Величина фотосинтетического потенциала варьировала вслед за площадью листьев и составила в среднем по группам сортов от 1400 тыс. м<sup>2</sup> дней/га при ГТК < 0,7 до 3100 тыс. м<sup>2</sup> дней/га при ГТК > 1,4 (табл.). В оптимальных условиях влагообеспеченности величина фотосинтетического потенциала составляла 2000-2400 тыс. м<sup>2</sup> дней/га. Распределение максимальных значений по группам сортов было таким же, что и по показателю площади листьев.

Чистая продуктивность фотосинтеза в сутки достигала максимальных значений в засушливых условиях и составила у сортов сои северного экотипа 2,73 г/м<sup>2</sup>, у дальневосточных – 2,41 г/м<sup>2</sup>, у южных сортов – 2,39 г/м<sup>2</sup> в сутки. (табл.). Значение показателя снижалось по мере увеличения количества осадков за вегетацию. В оптимальных условиях влагообеспеченности его значение составляло по группам сортов 2,20-2,54 г/м<sup>2</sup> в сут., в условиях избыточной влагообеспеченности – 1,91-2,06 г/м<sup>2</sup> в сут. Следует отметить, что чистая продуктивность фотосинтеза при всех уровнях влагообеспеченности была значительно выше у сортов сои северного экотипа.

Исследуемые сорта имели различия по степени нарастания сырой биомассы, а также в зависимости от условий влагообеспеченности вегетационного периода. Сырая биомасса достигала максимальных значений к концу периода цветения и образования плодов, и ее значение варьировало от 15,7 т/га у сортов сои северного экотипа в засушливых условиях вегетационного периода до 27,1 т/га у дальневосточных сортов при избыточном увлажнении (табл.).

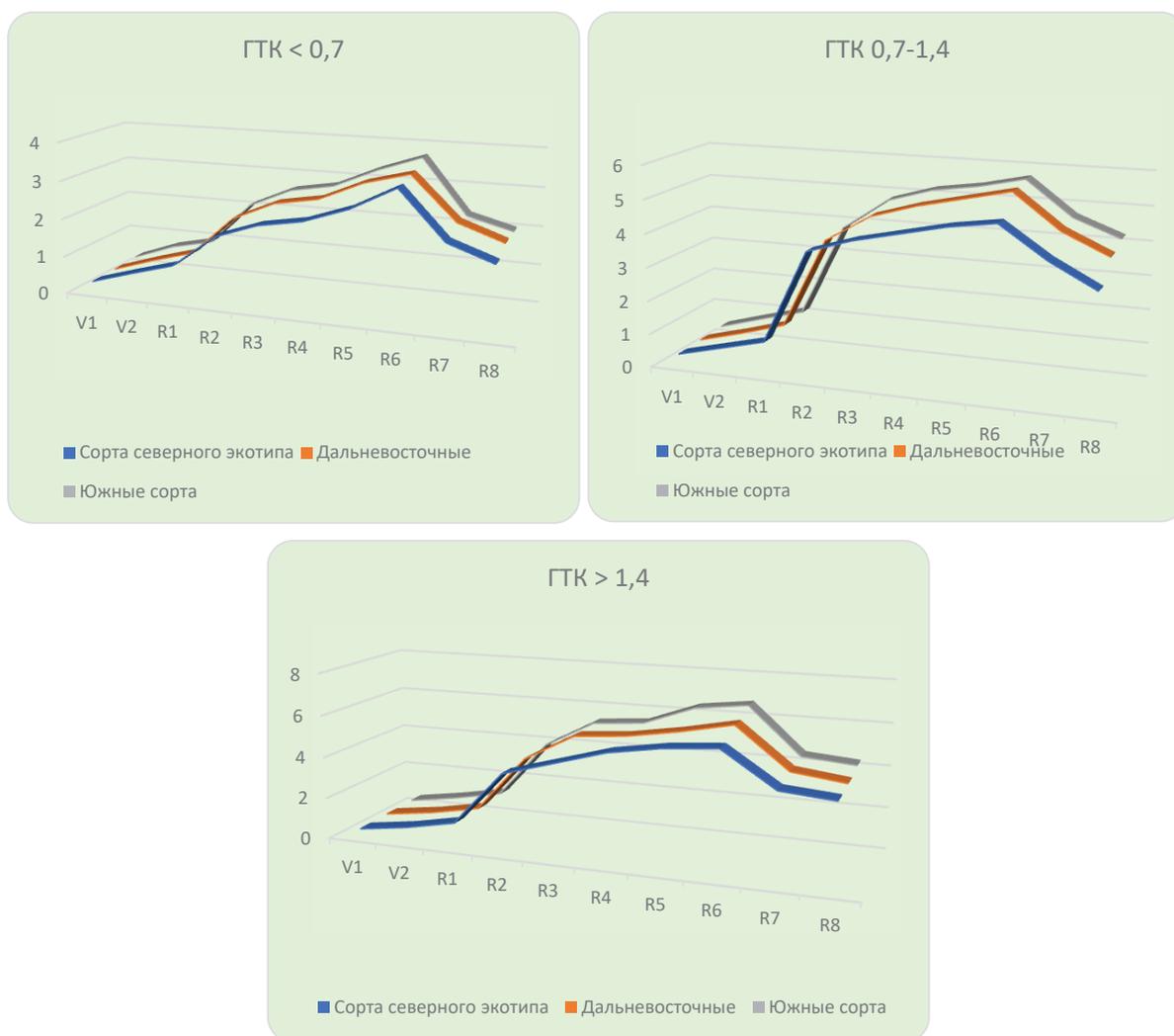


Рис. 4. Динамика нарастания сухой биомассы у сортов сои различного эколого-географического происхождения в разные по агрометеорологическим условиям годы, т/га

Fig. 4. Dynamics of dry biomass growth in soybean varieties of various ecological and geographical origin in different agrometeorological conditions years, t/ha

Таблица. Основные показатели фотосинтетической деятельности сортов сои различного эколого-географического происхождения при разных условиях влагообеспеченности вегетационного периода

Table. The main indicators of photosynthetic activity of soybean varieties of various ecological and geographical origin under different conditions of moisture availability of the growing season

Показатель Indicator	Сорта северного экотипа Varieties of northern eco type			Южные сорта Southern varieties			Дальневосточные сорта Far East varieties			
	ГТК / GTC									
	< 0,7	0,7-1,4	> 1,4	< 0,7	0,7-1,4	> 1,4	< 0,7	0,7-1,4	> 1,4	
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га Maximum leaf area, thousand m <sup>2</sup> / ha	24,3	35,8	41,5	24,9	37,8	43,3	25,1	37,6	44,2	
Фотосинтетический потенциал, тыс. м <sup>2</sup> дней/га Photosynthetic potential, thousand m <sup>2</sup> days / ha	1255	2064	2802	1470	2436	3319	1475	2438	3372	
Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м <sup>2</sup> в сут. Net productivity, g / m <sup>2</sup> per day	2,73	2,54	2,06	2,39	2,20	1,91	2,41	2,26	1,92	
Максимальная биомасса, т/га Maximum biomass, t / ha	Сырая	15,7	20,6	25,2	16,4	21,9	26,5	16,6	22,1	27,1
	Сухая	3,43	5,24	5,78	3,52	5,36	6,34	3,56	5,52	6,48

Урожайность всех исследуемых сортов возрастала по мере увеличения влагообеспеченности вегетационного периода, достигая максимальных значений в интервале ГТК от 1,4 до 1,6. Снижение урожайности с дальнейшим возрастанием ГТК вызвано задержкой созревания и невозможностью убрать урожай сои в оптимальные для региона сроки (рис. 5).

Максимальных значений урожайность сортов сои различного эколого-географического происхождения достигала при влагообеспеченности, соответствующей значению ГТК 1,5, и составила по сортам от 1,98 т/га у сорта северного экотипа Касатка до 2,48 т/га у южного сорта Лиры (рис. 5).

Наименьшая урожайность была получена в 2010 г. при ГТК 1,5 и составила 0,94-1,23 т/га. В отдельные годы, при невысоком общем значении ГТК, была получена достаточно высокая

урожайность. Это обусловлено таким распределением осадков в течение вегетационного периода, когда их основная часть пришлась на критические фазы роста и развития сои, и получив влагу, в эти фазы растения смогли компенсировать ее недостаток в последующие периоды. Так, в 2012 г. урожайность по сортам составила 1,90-2,50, при этом ГТК за вегетацию не превышал 0,7.

На урожайность сои оказывает непосредственное влияние влагообеспеченность в критические для нее периоды бутонизации-цветения- образования плодов. С повышением температурных значений и снижением количества выпавших осадков закономерно снижается урожайность. Максимальных значений урожайность сои достигает при температуре 20-24°C и количестве осадков 100-120 мм в период R1-R6 (цветение-полный налив семян) (рис. 6).

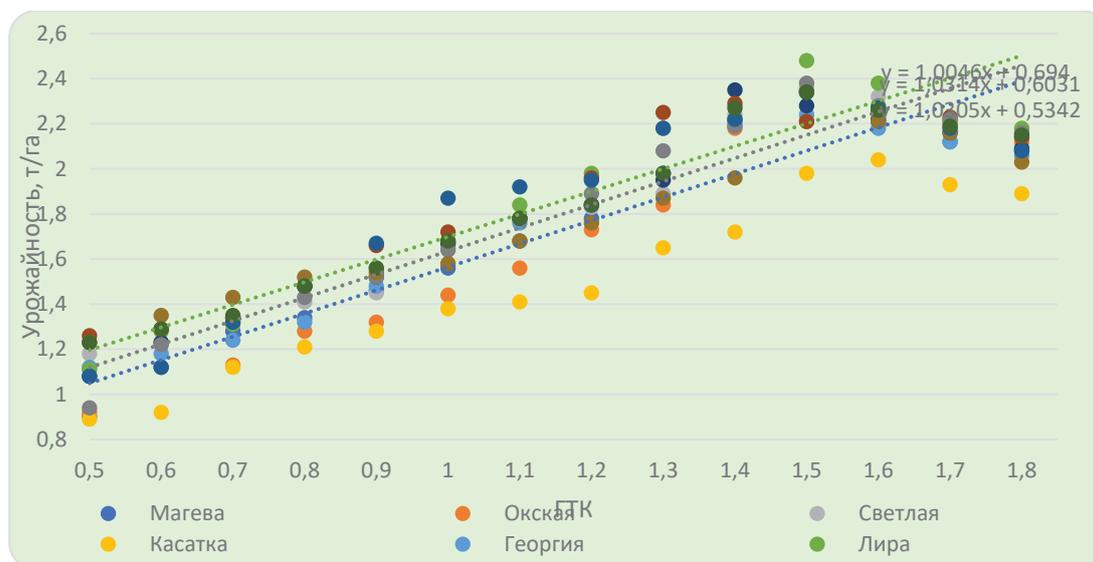


Рис. 5. Взаимосвязь урожайности сои и значения гидротермического коэффициента вегетационного периода

Fig. 5. The relationship between the soybean yield and the value of the hydrothermal coefficient of the growing season

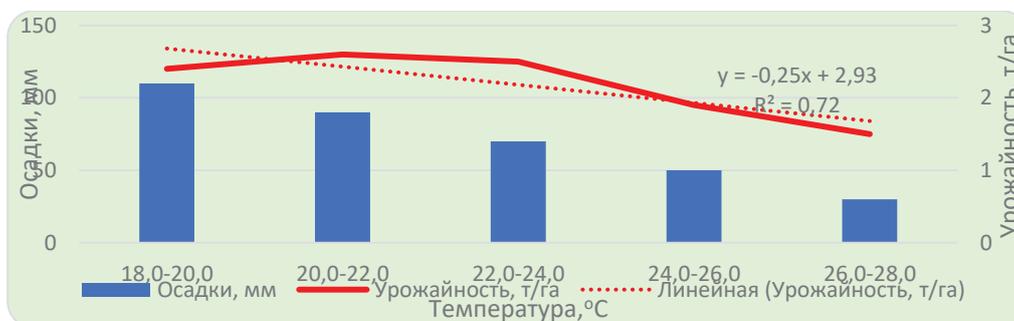


Рис. 6. Взаимосвязь продуктивности сои и гидротермических условий в период R1-R6 (цветение-полный налив семян)

Fig. 6. The relationship of soybean productivity with hydrothermal conditions in the period R1 – R6 (flowering – full filling of seeds)

При подборе сортов для возделывания в условиях Центрального района Нечерноземной зоны необходимо учитывать фактор гарантированного созревания сортов и максимизации сбора урожая с 1 га. Помимо традиционных для этого региона сортов сои северного экотипа, которые успешно себя зарекомендовали, но при определенных погодных условиях вегетационного периода не смогут полноценно реализовать свой потенциал, дополнить ассортимент южными и дальневосточными сортами, которые способны так же стабильно вызревать в регионе и обеспечивать высокую урожайность и сбор белка с единицы площади. Такой подход позволит нивелировать риски снижения сбора урожая и белка в разных агроклиматических условиях вегетационного

периода. В засушливых условиях вегетационного периода ( $ГТК < 0,7$ ) достоверные различия по урожайности между исследуемыми сортами выявлены не были, она формировалась на уровне 1,41-1,54 т/га (рис. 7). При оптимальной влагообеспеченности ( $ГТК = 0,7-1,4$ ) урожайность по сортам составила у сортов сои северного экотипа 1,86-2,28 т/га, у южных – 2,38-2,52 т/га у дальневосточных – 2,12-2,42 т/га.

Сбор белка варьировал вслед за урожайностью и составил в условиях достаточной влагообеспеченности вегетационного периода ( $ГТК = 0,7-1,4$ ) по всем сортам 800 кг/га и более (рис. 7). Максимальным сбор белка был среди сортов сои северного экотипа у сорта Окская (887 кг/га), среди южных – у сорта Лира (899 кг/га), среди дальневосточных – у сорта Персона (824 кг/га).

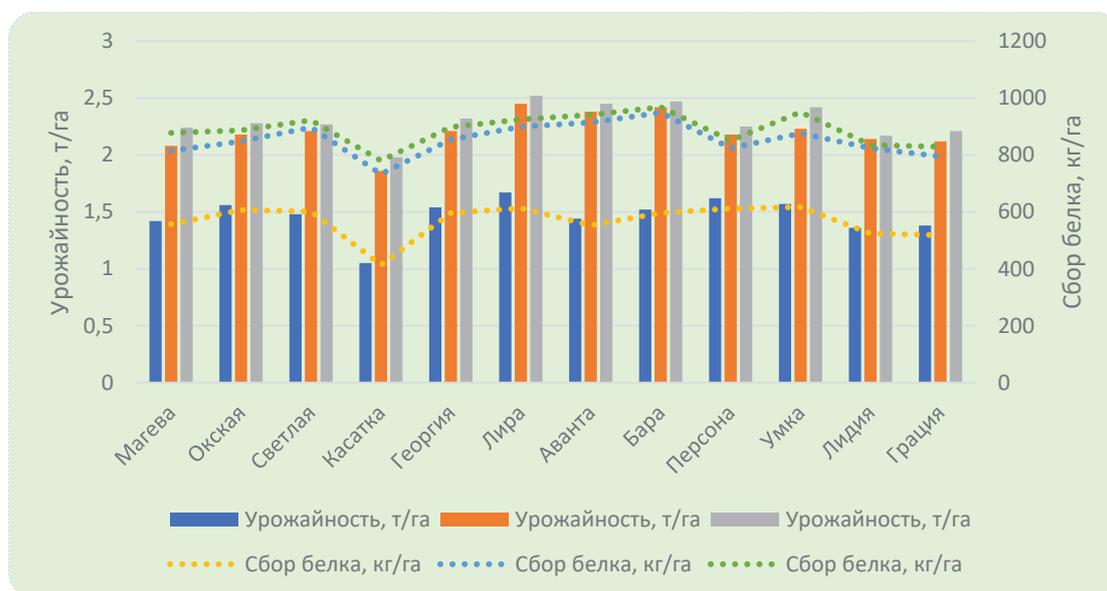


Рис. 7. Урожайность и сбор белка с 1 га по сортам сои в разных условиях влагообеспеченности вегетационного периода (в среднем за 2008-2020 гг.)

Fig. 7. Yield and protein harvesting per hectare by soybean varieties under different conditions of moisture availability during the growing season (on average for 2008-2020)

### Выводы

Установлено, что в последние десятилетия происходит планомерное изменение агроклиматических условий Центрального района Нечерноземной зоны. В условиях Рязанской области фиксируется локальное потепление климата с возрастанием засушливых лет. За годы проведения исследований температурные значения превышали среднемноголетние на 2-6°C, суммы активных температур в среднем составили 2500°C, количество выпадающих осадков за вегетацию варьировало в интервале 255-265 мм, при этом значение  $ГТК$  в среднем составило 0,7-1,1.

Продолжительность вегетационного периода значительно варьировала в зависимости

от влагообеспеченности, в годы с оптимальными параметрами ( $ГТК = 0,7-1,4$ ) составил 95-105 дней, при недостатке влаги – 78-95 дней, при избыточном увлажнении – 98-125 дней. Наиболее скороспелыми были сорта сои северного экотипа, далее следовали южные и дальневосточные сорта.

В исследованиях выявлена сортовая реакция на условия влагообеспеченности в отдельные периоды роста и развития. Количество осадков, выпавших в июле, было критически значимым для сортов сои северного экотипа, на генеративное развитие и последующую семенную продуктивность южных и дальневосточных сортов оказывали существенное влияние осадки в августе.

Таким образом, чтобы снизить риски недополучения потенциально возможной урожайности в разные по агрометеорологическим условиям годы, рекомендуется подбирать сорта разного эколого-географического происхождения: наряду с традиционными сортами северного экотипа

включить южные и дальневосточные сорта, которые способны стабильно вызревать в регионе, а также в оптимальных агроклиматических условиях обеспечивать высокую урожайность и сбор белка с единицы площади.

#### Список использованных источников

1. Гуреева Е.В. Влияние гидротермических условий на урожайность семян сои в условиях Рязанской области // Земледелие. 2018. № 7. С. 34-35.
2. Дорохов А.С., Бельшклина М.Е. Агроклиматическая характеристика регионов Нечерноземной зоны Российской Федерации и оценка пригодности для возделывания современных раннеспелых сортов сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 34-39.
3. Belyshkina M. Studying the possible introduction of soybeans into new cultivation regions based on the analysis of climate change and agroecological testing of varieties / Zagoruiko M., Mironov D., Bashmakov I., Rybalkin D., Romanovskaya A. // Agronomy. 2023. Vol. 13, № 2. P. 610.
4. Зайцев Н.И., Ревенко В.Ю., Устарханова Э.Г. Влияние погодных факторов на продуктивность перспективных линий сои в зоне неустойчивого увлажнения // Масличные культуры. 2020. № 2 (182). С. 62-69.
5. Гуреева Е.В. Влияние метеорологических условий на хозяйственно ценные признаки сои // Вестник российской сельскохозяйственной науки 2021. № 1. С. 28-31.
6. Суховеева О.Э. Влияние современных изменений климата на продуктивность сельскохозяйственных культур в Нечерноземье // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 71-77.
7. Anjum S.A., Zohaib A., Ali I., Tabassum T., Nazir U., Ashraf U., Tanveer M., Naeem M. Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review // Zemdirbyste. 2017. Vol. 104, № 3. Pp. 267-276.
8. Eulenstein F., Lana M., Tauschke M., Behrend A., Sheudzhen A., Schlindwein S., Guevara E., Meira S. Trends of soybean yields under climate change scenarios // Horticulturae. 2017. Vol. 3, № 1. P. 10.
9. Jumrani K., Bhatia V.S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019. Vol. 25, № 3. Pp. 667-681. DOI: 10.1007/s12298-019-00657-5.
10. Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П. Методы исследований в полевых опытах с соей. Благовещенск: ФГБНУ Всероссийский НИИ сои, 2016. 116 с.
11. Farooq M., Nadeem F., Ullah A., Siddique K.H.M., Alghamdi S.S., Gogoi N., Nayyar H. Heat stress in grain legumes during reproductive and grain-filling phases // Crop and Pasture Science. 2017. Vol. 68, № 10-11. Pp. 985-1005.
12. Liu Y., Li J., Zhu Y., Song Y., Jones A., Rose R.J. Heat stress in legume seed setting: effects, causes, and future prospects // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10 Jan. Pp. 938. DOI: 10.3389/fpls.2019.00938.
13. Slafer G.A., Savin R., Kantolic A.G., Appendino M.L., Miralles D.J., Tranquilli G. Genetic and environmental effects on crop development determining adaptation and yield // Crop Physiology: Applications

#### References

1. Gureeva E.V. The influence of hydrothermal conditions on the yield of soybean seeds in the conditions of the Ryazan region // Agriculture. 2018. No. 7. P. 34-35.
2. Dorokhov A.S., Belyshkina M.E. Agro-climatic characteristics of the regions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and assessment of suitability for cultivation of modern early-ripening soybean varieties / Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. № 3 (55). P. 34-39.
3. Belyshkina M., Studying the possible introduction of soybeans into new cultivation regions based on the analysis of climate change and agroecological testing of varieties // Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 610.
4. Zaitsev N.I., Revenko V.Yu., Ustarkhanova E.G. The influence of weather factors on the productivity of promising soybean lines in the zone of unstable humidification // Oilseeds. 2020. № 2 (182). P. 62-69.
5. Gureeva E.V. Influence of meteorological conditions on economically valuable soybean traits // Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2021. No. 1. P. 28-31.
6. Sukhoveeva O.E. The influence of modern climate changes on the productivity of agricultural crops in the Non-Chernozem region // Geography and natural resources 2014 No. 2. P. 71-77.
7. Anjum S.A., Zohaib A., Ali I., Tabassum T., Nazir U., Ashraf U., Tanveer M., Naeem M. Growth and developmental responses of crop plants under severe stress: a review // Zemdirbyste. 2017. Vol. 104. No. 3. P. 267-276.
8. Eulenstein F., Lana M., Tauschke M., Behrend A., Sheudzhen A., Schlindwein S., Guevara E., Meira S. Trends of soybean yields under climate change scenarios // Horticulturae 2017. Vol. 3. No. 1 Pp. 10.
9. Jumrani K., Bhatia V.S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes Vol. 25. No. 3. Pp. 667-681. – DOI: 10.1007/s12298-019-00657-5
10. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P. Research methods in field experiments with soy. Blagoveshchensk: All-Russian Research Institute of Soy, 2016. 116 p.
11. Farooq M., Nadeem F., Ullah A., Siddique K.H.M., Algamdi S.S., Gogoi N., Nayyar N. Heat stress in grain legumes during reproductive and grain-filling phases // Crop and Paste Science. 2017. Vol. 68. No. 10-11. Pp. 985-1005.
12. Liu Y., Li J., Zhu Y., Song Y., Jones A., Rose R.J. Heat stress in legume seed setting: effects, causes, and future prospects // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10 Jan. Pp. 938. – DOI: 10.3389/fpls.2019.00938
13. Slafer G.A., Savin R., Kantolic A.G., Appendino M.L., Miralles D.J., Tranquilli G. Genetic and environmental effects on crop development determining adaptation and yield // Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy: Second Edition, 2014. Pp. 285-319.

for Genetic Improvement and Agronomy: Second Edition, 2014. Pp. 285-319.

14. **Бельшкіна М.Е.** Динамические параметры формирования урожая раннеспелых сортов сои в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 77-84.

15. **Гришин А.П., Гришин А.А., Семенова Н.А.** Способ контроля продуктивности растения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 2. С. 69-74.

16. **Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В.** Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 2. С. 40-48.

#### Об авторе

**Марина Евгеньевна Бельшкіна**, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; bely-mai@yandex.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Бельшкіна М.Е. выполнила теоретические и практические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

**Поступила в редакцию / Received at the editorial office** 21.01.2024

**Поступила после рецензирования / Received after peer review** 25.02.2024

**Принята к публикации / Accepted for publication** 25.02.2024

14. **Belyshkina M.E.** Dynamic parameters of early-ripening soybean crop formation in the conditions of the Central Non-Chernozem region // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018 № 4 (44). P. 77-84.

15. **Grishin A.P., Grishin A.A., Semenova N.A.** Method of plant productivity control // Agricultural machinery and technology. 2021 Vol. 15.No. 2. P. 69-74.

16. **Rakutko S.A., Rakutko E.N., Medvedev G.V.** Development of an experimental phytotron and its application in research on the energy ecology of light culture // Agricultural machinery and technology. 2023. Vol. 17. No. 2. P. 40-48.

#### About the authors

**Marina E. Belyshkina**, DSc (Agro), Leading Researcher; ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; bely-mai@yandex.ru

Belyshkina M.E. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-31-36>

УДК 631.344.8



## РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА МЕТОДОМ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАПЛАСА И ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА БУБНОВА-ГАЛЕРКИНА ДЛЯ УСЛОВИЙ ЛУЧИСТОГО ОБОГРЕВА ПОЧВЫ

М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов

Вологодский государственный университет; 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, Россия

**Аннотация.** Цель исследований – нахождение, прогнозирование и регулирование температурно-влажностного режима почвы для условий лучистого отопления культивационных сооружений с применением потолочных инфракрасных излучателей темного типа. Представлена система дифференциальных уравнений (в размерном и безразмерном видах), отражающая взаимосвязь тепловых и массообменных процессов в коллоидных капиллярно-пористых телах в случае поверхностного лучистого обогрева. Рассмотрено частное аналитическое решение данной системы дифференциальных уравнений для неограниченной пластины с учетом перекрестных процессов: перемещения влаги в слое почвы за счет разности температур (термодиффузии) и переноса энергии водяного пара в пористой среде благодаря градиенту поля влагосодержания (пародиффузионному процессу). На примере фрезерного торфа с учетом исходных данных получено решение краевой задачи теплопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина, представляющее собой одномерные нестационарные поля влагосодержания и температуры. Установлено, что при заданных начальных и граничных условиях, а также с учетом теплофизических характеристик фрезерного торфа достижение требуемых значений влагосодержания произойдет через 5 ч, значений температуры – через 2 ч. При этом если на координатном отрезке  $z \in [6, 0; 12, 0]$  см происходит закономерное уменьшение влагосодержания под воздействием лучистого обогрева, то вблизи поверхности почвы  $z \in [0; 6, 0]$  см наблюдается незначительный рост данной величины. Что касается температурного поля фрезерного торфа, то здесь соблюдается закономерная температурная стратификация по глубине слоя почвы без каких-либо температурных аномалий в течение всего периода нагрева.

**Ключевые слова:** температурно-влажностный режим, теплоперенос, метод совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина, коллоидное капиллярно-пористое тело, лучистый обогрев, культивационное сооружение, теплица, почва, фрезерный торф

**Формат цитирования:** Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Решение краевой задачи теплопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина для условий лучистого обогрева почвы // Природообустройство. 2024. № 3. С. 31-36. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-31-36>

Scientific article

## SOLUTION OF THE BOUNDARY VALUE PROBLEM OF HEAT AND MASS TRANSFER BY THE METHOD OF JOINT APPLICATION OF THE INTEGRAL LAPLACE TRANSFORM AND THE BUBNOV-GALERKIN VARIATIONAL METHOD FOR CONDITIONS OF RADIANT SOIL HEATING

M.V. Pavlov, D.F. Karpov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologda State University", 15 Lenin St., Vologda, 160000, Russia

**Abstract.** The purpose of the research is to find, predict and regulate the temperature and humidity regime of the soil for the conditions of radiant heating of cultivation facilities using dark-type ceiling infrared emitters. A system of differential equations (in dimensional and dimensionless

forms) is presented, reflecting the relationship of thermal and mass transfer processes in colloidal capillary-porous bodies in the case of surface radiant heating. A particular analytical solution of this system of differential equations for an unbounded plate is considered, taking into account cross-processes: the movement of moisture in the soil layer due to temperature difference (thermodiffusion) and the transfer of water vapor energy in a porous medium due to the gradient of the moisture content field (parodiffusion process). On the example of milling peat, taking into account the initial data, the solution of the boundary value problem of heat and mass transfer is obtained by the method of joint application of the integral Laplace transform and the Bubnov-Galerkin variational method, which represents one-dimensional unsteady fields of moisture content and temperature. It is established that under the given initial and boundary conditions, as well as taking into account the thermophysical characteristics of milling peat, the required moisture content values will be achieved in five hours, the temperature in two hours. At the same time, if a regular decrease in moisture content occurs on the coordinate segment  $z \in [6.0; 12.0]$  cm under the influence of radiant heating, then a slight increase in this value is observed near the soil surface  $z \in [0; 6.0]$  cm. As for the temperature field of milling peat, there is a regular temperature stratification by the depth of the soil layer, without any temperature anomalies during the entire heating period.

**Keywords:** temperature-humidity regime, heat and mass transfer, method of joint application of the integral Laplace transform and the Bubnov-Galerkin variational method, colloidal capillary-porous body, radiant heating, cultivation structure, greenhouse, soil, milled peat

**Format of citation:** Pavlov M.V., Karpov D.F. Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the method of joint application of the integral Laplace transform and the Bubnov-Galerkin variational method for conditions of radiant soil heating // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 31-36. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-31-36>

**Введение.** Как известно, тепловые и массообменные процессы, протекающие в слое почвы, находятся в тесной взаимосвязи. Например, разность температур в двух точках капиллярно-пористого тела может вызвать перенос влаги (термодиффузию), а перемещение водяного пара – изменение температуры вследствие его конденсации и передачи почве скрытой теплоты парообразования (пародиффузионные процессы). Такой подход при изучении вопросов теплопереноса в почве представляется наиболее перспективным, так как отражает реальный характер природных процессов переноса энергии и вещества [1]. При этом стоит отметить, что рассмотрение теплофизики почв как общеприкладного научного направления является актуальным не только с точки зрения сельского хозяйства, но и для решения других, более сложных задач, – например, вопросов, связанных с возникновением и распространением лесных пожаров [2].

Перекрестные процессы теплопереноса, встречающиеся в природе, имеют свое «отображение» в математическом моделировании. В структуру дифференциальных уравнений теплопереноса входят параметры, которые характеризуют сходные по природе процессы, но служащие для раздельного описания движения энергии и вещества. К таким параметрам можно отнести, например, теплопроводность и коэффициент диффузии влаги [3]. Однако имеется ряд коэффициентов,

предназначенных для описания сопряженных процессов диффузии теплоты и массы. К таким показателям относятся коэффициент термодиффузии влаги и критерий фазового превращения.

Важно помнить, что аналогия перечисленных коэффициентов является только формально-математической, так как физика самих процессов переноса энергии и вещества гораздо сложнее. В теории подобия теплообменных процессов закономерно фигурируют безразмерные числа (критерии), отвечающие за перекрестные процессы переноса энергии и вещества [4-6]: число Льюкова (определяет релаксацию поля потенциала теплопереноса по отношению к полю температур); число П – основа (определяет отношение интенсивности термодиффузионного переноса влаги к диффузионному переносу влаги или отношение термовлагодобности к влагодобности); число Коссовича (устанавливает связь между количествами теплоты, затраченными на испарение жидкости и на нагревание влажного тела).

Большой вклад в разработку методик решения и получения самих решений системы дифференциальных уравнений нестационарного теплообмена внесли многие иностранные (Ж. Фурье, Г. Кирхгоф, С. Пуассон, А. Пуанкаре, Г. Краслоу, Д. Егер, Э. Эккерт) и советские (А.Г. Столетов, М.В. Кирпичев, М.А. Михеев, А.А. Гухман, А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов, С.С. Кутателадзе, С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский,

А.И. Леонтьев) физики, а также математики В.А. Стеклов, И.Г. Петровский, С.Л. Соболев, А.А. Самарский, В.С. Владимиров, В.А. Ильин, Н.С. Кошляков, Г.А. Гринберг.

#### Материалы и методы исследований.

Операционные методы широко применяются для решения линейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа, к которым приводятся многие задачи нестационарного теплопереноса:

$$\frac{\partial P}{\partial \delta} = a \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где  $P$  – потенциал;  $\tau$  – время;  $z$  – координата, м;  $a$  – параметр уравнения, который обычно включает в себя совокупность физических свойств тела.

Эти методы позволяют получать не только точные, но и приближенные решения [7]. В теории и практике применения прямых методов решения задач теплообмена нередко задачу интегрирования выражения (1) можно заменить равносильной задачей об отыскании функции, сообщающей некоторому интегралу наименьшее значение. Задачи такого типа называются вариационными.

Таким образом, задачу интегрирования дифференциального уравнения можно заменить некоторой равносильной вариационной задачей. Способы, позволяющие свести задачу об интегрировании дифференциального уравнения к равносильной вариационной задаче, носят общее название – вариационные методы [8].

Ранее авторами рассмотрены частные аналитические решения дифференциального уравнения вида (1) методом источников [9] и методом конечного интегрального преобразования Фурье [10]. В статье представлен математический метод, при котором краевая задача теплопереноса подвергается интегральному преобразованию Лапласа по временной переменной и в области изображений приводится к решению граничной задачи по пространственным координатам. Для приближенного решения задачи в области изображений применяется вариационный метод Бубнова-Галеркина. Приближенное решение в области изображений обратным преобразованием Лапласа переводится в область оригиналов.

Система дифференциальных уравнений теплопереноса при лучистом обогреве почвы имеет следующий вид (математический вывод данных уравнений представлен в работе [11]):

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = a_w \nabla^2 W + a_w \delta \nabla^2 t; \quad (2)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{r\varepsilon}{c_m} \frac{\partial W}{\partial \tau}, \quad (3)$$

где  $W$  – влагосодержание, кг/кг;  $t$  – температура, °С;  $a_w$  – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $\delta$  – термоградиентный коэффициент (коэффициент Соре), 1/°С;  $a_t$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $r$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг;  $\varepsilon$  – критерий фазового превращения;  $c_m$  – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К).

Приведем систему дифференциальных уравнений взаимосвязанного теплопереноса к следующему виду:

$$\frac{\partial P_1}{\partial \tau} = a_{11} \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} + a_{12} \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \tau} = a_{21} \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} + a_{22} \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2}, \quad (5)$$

где  $P_1 = W$ ,  $P_2 = t$  – потенциалы теплопереноса;  $a_{11} = a_w$ ,  $a_{12} = a_w \delta$ ,  $a_{21} = \frac{a_w r \varepsilon}{c_m}$ ,  $a_{22} = a_t + \frac{a_w \delta r \varepsilon}{c_m}$  – параметры системы дифференциальных уравнений.

**Результаты и их обсуждение.** Рассмотрим неограниченную пластину – слой почвы (рис. 1) толщиной  $h$ , м, при начальных потенциалах теплопереноса  $P_{н1}$  и  $P_{н2}$ . С поверхности почвы при  $z = h$  в течение времени  $\tau$ , с, под воздействием лучистого обогрева формируются противоположно направленные пограничные потоки массы и теплоты соответственно плотностью  $p_1(h)$  и  $p_2(h)$ . Изменение потенциалов теплопереноса происходит в одном направлении – вдоль оси  $Oz$ . Требуется найти распределение потенциалов теплопереноса вида  $P_1(z, \tau)$  и  $P_2(z, \tau)$ .

Условия однозначности для решения задачи теплопереноса в слое почвы будут иметь вид:

$$P_k(z, 0) = P_{нк}, k = 1, 2; \quad (6)$$

$$-\frac{\partial P_k(h, \tau)}{\partial z} + p_k(h) = 0, k = 1, 2; \quad (7)$$

$$P_k(0, \tau) = P_{нк}, \frac{\partial P_k(0, \tau)}{\partial z} = 0, k = 1, 2. \quad (8)$$

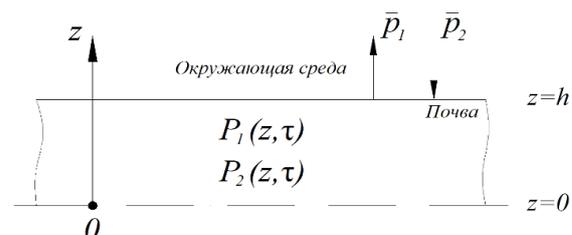


Рис. 1. Постановка краевой задачи теплопереноса

Fig. 1. Formulation of the boundary value problem of heat and mass transfer

Решение дифференциальных уравнений (4) и (5) при начальных (6) и граничных (7), (8) условиях является известным и имеет вид [12]:

$$P_1(z, \tau) = P_{н1} - \frac{p_1(h)h}{2a_w\rho} \frac{z^2}{h^2} + \frac{p_1(h)h}{6a_w\rho} - \frac{1}{h} \left( \frac{a_{11}p_1(h)\tau}{a_w\rho} + \frac{a_{12}p_2(h)\tau}{\lambda} \right) - a_{(1)} \cos \frac{\pi z}{h}; \quad (9)$$

$$a_{(1)} = \frac{2h}{\pi^2(\mu_1 - \mu_2)} \left\{ \left[ \frac{(a_{11} - \mu_2)p_1(h)}{a_w\rho} + \frac{a_{12}p_2(h)}{\lambda} \right] e^{-\mu_1 \left(\frac{\pi}{h}\right)^2 \tau} - \left[ \frac{(a_{11} - \mu_1)p_1(h)}{a_w\rho} + \frac{a_{12}p_2(h)}{\lambda} \right] e^{-\mu_2 \left(\frac{\pi}{h}\right)^2 \tau} \right\}; \quad (10)$$

$$P_2(z, \tau) = P_{н2} + \frac{p_2(h)h}{2\lambda} \frac{z^2}{h^2} - \frac{p_2(h)h}{6\lambda} + \frac{1}{h} \left( \frac{a_{21}p_1(h)\tau}{a_w\rho} + \frac{a_{22}p_2(h)\tau}{\lambda} \right) + a_{(2)} \cos \frac{\pi z}{h}; \quad (11)$$

$$a_{(2)} = \frac{2h}{\pi^2(\mu_1 - \mu_2)} \left\{ \left[ \frac{a_{21}p_1(h)}{a_w\rho} + \frac{(a_{22} - \mu_2)p_2(h)}{\lambda} \right] e^{-\mu_1 \left(\frac{\pi}{h}\right)^2 \tau} - \left[ \frac{a_{21}p_1(h)}{a_w\rho} + \frac{(a_{22} - \mu_1)p_2(h)}{\lambda} \right] e^{-\mu_2 \left(\frac{\pi}{h}\right)^2 \tau} \right\}; \quad (12)$$

где  $\rho$  – плотность скелета почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности почвы, (Вт/м К).

В уравнениях (10) и (12) коэффициенты  $\mu_k$  при  $k = 1, 2$  являются корнями характеристического уравнения, которые определяются по формуле:

$$\mu_k = \frac{1}{2} \left[ (a_{11} + a_{22}) + (-1)^{k+1} \sqrt{(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21}} \right]. \quad (13)$$

Приведем решение задачи тепломассопереноса (9)-(12) к безразмерному виду:

$$\theta = \frac{1}{2} Ki_w \xi^2 - \frac{1}{6} Ki_w + Ki_w Fo_w + Ki_i Pn Fo_w + a_{(1)} \cos \pi \xi; \quad (14)$$

$$a_{(1)} = \frac{2}{\pi^2(\mu_1 - \mu_2)} \left\{ [(a_{11} - \mu_2) Ki_w + a_{11} Ki_i Pn] e^{\frac{\pi^2 \mu_1 Fo_w}{a_{11}}} - [(a_{11} - \mu_1) Ki_w + a_{11} Ki_i Pn] e^{-\frac{\pi^2 \mu_2 Fo_w}{a_{11}}} \right\}; \quad (15)$$

$$T = \frac{1}{2} Ki_i \xi^2 - \frac{1}{6} Ki_i + Ki_w Ko^* Fo_w + Ki_i (Fo_i + Pn Ko^* Fo_w) + a_{(2)} \cos \pi \xi; \quad (16)$$

$$a_{(2)} = \frac{2}{\pi^2(\mu_1 - \mu_2)} \left\{ [a_{11} Ki_w Ko^* + (a_{22} - \mu_2) Ki_i] e^{\frac{\pi^2 \mu_1 Fo_w}{a_{11}}} - [a_{11} Ki_w Ko^* + (a_{22} - \mu_1) Ki_i] e^{-\frac{\pi^2 \mu_2 Fo_w}{a_{11}}} \right\}; \quad (17)$$

где  $\theta = \frac{W_n - W}{W_n - W_k}$  – безразмерное влагосодержание;  $W_n$  и  $W_k$  – соответственно начальное и конечное влагосодержание почвы, кг/кг;  $T = \frac{t - t_n}{t_k - t_n}$  – безразмерная температура;  $t_n$  и  $t_k$  – соответственно начальная и конечная температура почвы, °C;  $Fo_w = \frac{a_w \tau}{h^2}$  – массообменное число Фурье;  $Fo_i = \frac{a_i \tau}{h^2}$  – теплообменное число Фурье;  $\xi = \frac{z}{h}$  – безразмерная координата;  $Pn = \frac{\delta(t_k - t_n)}{W_n - W_k}$  – число Поснова;  $Ko^* = \varepsilon Ko$  – модифицированное число Коссовича;  $Ko = \frac{r(W_n - W_k)}{c_m(t_k - t_n)}$  – число Коссовича;  $Ki_w = \frac{ih}{a_w \rho (W_n - W_k)}$  – массообменный критерий Кирпичева;  $Ki_i = \frac{qh}{\lambda(t_k - t_n)}$  – теплообменный критерий Кирпичева.

Представим решение краевой задачи тепломассопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина на примере фрезерного торфа со следующими исходными данными:

$$h = 0,12 \text{ м}; \rho = 74 \text{ кг/м}^3;$$

$$a_w = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$a_i = 14,84 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\delta = 4 \cdot 10^{-2} \text{ 1/}^\circ\text{C};$$

$$\lambda = 0,302 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)};$$

$$c_m = 2,75 \cdot 10^4 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

$$r = 2,472 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг};$$

$$\varepsilon = 0,1; P_{н1} = W_n = 3,7 \text{ кг/кг};$$

$$P_{к1} = W_k = 1,0 \text{ кг/кг};$$

$$p_1(h) = i = 170 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)} \text{ (плотность потока массы)};$$

$$P_{н2} = t_n = 5^\circ\text{C}; P_{к2} = t_k = 20^\circ\text{C};$$

$$p_2(h) = q = 100 \text{ Вт/м}^2 \text{ (плотность теплового потока)}.$$

На рисунке 2 представлено решение краевой задачи массопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина.

На рисунке 3 представлено решение краевой задачи теплотпереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина.

На основе системы уравнений (9)-(17) разработана программа для расчета температур-

но-влажностного режима почвы методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина в математическом редакторе *Mathcad*.

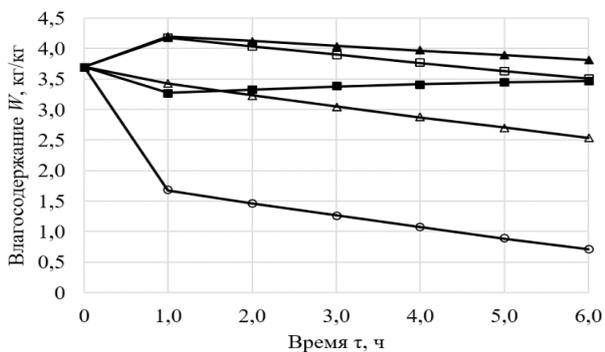


Рис. 2. Решение краевой задачи массопереноса: ■ – 0 см; ▲ – 6 см; □ – 8 см; △ – 10 см; ○ – 12 см

Fig. 2. Solution mass transfer boundary:

■ – 0 см; ▲ – 6 см; □ – 8 см; △ – 10 см; ○ – 12 см

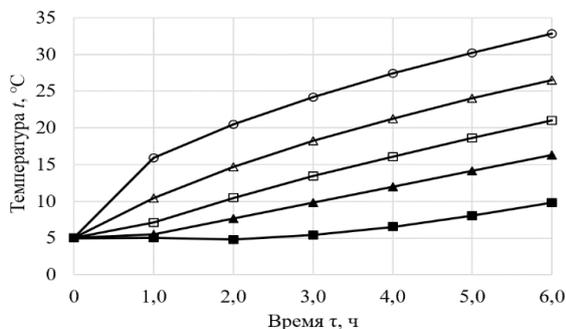


Рис. 3. Решение краевой задачи теплопереноса: ■ – 0 см; ▲ – 6 см; □ – 8 см; △ – 10 см; ○ – 12 см

Fig. 3. Solution of the boundary problem of heat transfer:

■ – 0 см; ▲ – 6 см; □ – 8 см; △ – 10 см; ○ – 12 см

#### Список использованных источников

- Сагындыкова Р.К., Курбаналиев А.Б., Дыйканова А.Т., Джусупова Г.А. Аналитическое исследование совместной задачи тепловлагопереноса в почвогрунтах // *AlatooAcademicStudies* 2021. № 4. С. 338-343.
- Барановский Н.В., Тойчув Р.М., Олалей А.О. Математическое моделирование теплопереноса в слое почвы при воздействии очага лесного пожара // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 4. С. 317.
- Микайылов Ф.Д., Шейн Е.В. Теоретические основы экспериментальных методов определения теплопроводности почв // *Почвоведение*. 2010. № 5. С. 597-605.
- Лыков А.В. Теплообмен. Справочник. М.: Энергия, 1972. 560 с.
- Лыков А.В. Теория сушки: учебное пособие. М.: Энергия, 1968. 472 с.
- Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессе сушки. М.: Л.: Госэнергоиздат, 1956. 464 с.
- Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы нестационарной теплопроводности: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1978. 328 с.

#### Выводы

Аналитические методы решения краевой задачи теплопереноса, представляющие собой в данном случае размерные и безразмерные функции (9)-(17), позволяют анализировать влияние исходных параметров (например, интенсивности испарения влаги с поверхности почвы или величины плотности теплового потока) на температурно-влажностный режим почвы. Кроме того, возможно прогнозирование температурно-влажностного режима почвы по глубине ее залегания в течение определенного времени. В случае отсутствия точных исходных данных о расчетных параметрах, задача может быть решена с использованием методов интервального анализа. Результаты программного решения краевой задачи теплопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина показали, что поле влагосодержания на различных участках слоя почвы толщиной  $h = 0,12$  м ведет себя по-разному: если на координатном отрезке  $z \in [6, 0; 12, 0]$  см происходит закономерное уменьшение влагосодержания  $W$ , кг/кг, под воздействием лучистого обогрева, то вблизи поверхности фрезерного торфа  $z \in [0; 6, 0]$  см наблюдается незначительный рост данной величины. Возможно, что за счет температурного перепада на поверхности почвы и в ее глубинных горизонтах, происходит перенос влаги (термодиффузия). Что касается температурного поля, то здесь соблюдается температурная стратификация по глубине всего слоя почвы.

#### References

- Sagyndykova R.K. Analytical study of the joint problem of heat and moisture transfer in soils / Kurbanaliyev A.Y., Dyikanova A.T., Dzhusupova G.A. // *AlatooAcademicStudies* 2021. № 4. P. 338-343.
- Baranovskij N.V., Tojchuev R.M., Olaleje A.O. Mathematical modeling of heat transfer in the soil layer under the impact of the forest fire hearth // *Modern problems of science and education*. 2013. № 4. P. 317.
- Mikajylov F.D., Shein E.V. Teoreticheskie osnovy eksperimental'nyh metodov opredeleniya temperaturoprovodnosti pochv // *Pochvovedenie*. 2010. № 5. S. 597-605.
- Lykov A.V. Heat and mass transfer: Reference book. Moscow, Energy Publ., 1972. 560 p.
- Lykov A.V. Theory of drying: Textbook. Moscow, Energy Publ., 1968. 472 p.
- Lykov A.V. Heat and mass transfer in the drying process. – Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat, 1956. 464 p.
- Belyaev N.M., Ryadno A.A. Methods of nonstationary heat conduction. – Moscow: Higher school, 1978. 328 p.
- Mihlin S.G. Variational methods in mathematical physics. Moscow, Nauka Publ., 1970, 512 p.

8. **Михлин С.Г.** Вариационные методы в математической физике. М.: Наука, 1970. 512 с.

9. **Павлов М.В., Карпов Д.Ф.** Решение краевой задачи тепломассопереноса методом источников для условий лучистого обогрева почвы // Природообустройство. 2023. № 4. С. 15-20.

10. **Павлов М.В., Карпов Д.Ф.** Решение краевой задачи тепломассопереноса методом конечного интегрального преобразования Фурье для условий лучистого обогрева почвы // Природообустройство. 2024. № 1. С. 18-24.

11. **Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Сеницын А.А. и др.** Исследование процессов тепломассопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве: Учебное пособие. Вологда: ВоГУ, 2015. 192 с.

12. **Цой П.В.** Методы расчета отдельных задач тепломассопереноса. М.: Энергия, 1971. 384 с.

13. **Соловьев С.А., Иньков А.Э., Соловьева А.А.** Оценка индекса надежности стальных ферм по критерию жесткости при интервальной неопределенности данных // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19, № 1. С. 46-55.

#### Об авторах

**Михаил Васильевич Павлов**, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоводоснабжения; Author ID SCOPUS57204361039; WoS ResearcherID AAN-5773-2021; ORCID0000-0002-8687-3296; ID РИНЦ 564419; pavlovmv@vogu35.ru

**Денис Федорович Карпов**, старший преподаватель кафедры теплогазоводоснабжения; Scopus ID: 57210325021; WoS Researcher ID: AAF-2092-20214; ORCID ID: 0000-0002-3522-9302; karpovdf@vogu35.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Павлов М.В., Карпов Д.Ф. провели теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых выполнили обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

#### Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 20.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.04.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 18.04.2024

9. **Pavlov M.V., Karpov D.F.** Solution of the boundary problem of heat and mass transfer by the source method for the conditions of radiant soil heating. 2023. № 4. P. 15-20.

10. **Pavlov M.V., Karpov D.F.** Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the method of finite integral Fourier transform for conditions of radiant soil heating. 2024. № 1. P. 18-24.

11. **Pavlov M.V., Karpov D.F., Sinitsyn A.A., et al.** Study of heat and mass transfer processes in the soil layer on the example of milled peat at infrared radiant heating: a textbook. Vologda: VoGU. 2015. 192 p.

12. **Tsoj P.V.** Methods of calculation of certain problems of heat and mass transfer. Moscow, Energy Publ., 1971. 384 p.

13. **Soloviev S.A., Inkov A.E., Solovieva A.A.** Estimation of the reliability index of steel trusses according to the stiffness criterion under the interval uncertainty of data. 2023. V. 19. № 1. P. 46-55.

#### Author information

**Mikhail V. Pavlov**, associate professor, CSc (Eng), associate professor of the department of heat and gas supply; Author ID SCOPUS57204361039; WoS ResearcherID AAN-5773-2021; ORCID0000-0002-8687-3296; ID RSCI 564419; pavlovmv@vogu35.ru

**Denis F. Karpov**, senior lecturer of the department of heat and gas supply; Scopus ID: 57210325021; WoS Researcher ID: AAF-2092-2021; ORCID ID: 0000-0002-3522-9302; karpovdf@vogu35.ru

Pavlov M.V. and Karpov D.F. conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-37-43>

УДК 631.6:631.311.5



## ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНО-ВЫСОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

**Аннотация.** Одним из наиболее эффективных и распространенных в средней полосе Российской Федерации методов полива является дождевание, а наиболее распространенные – широкозахватные дождевальные машины кругового действия. Целью исследований стала оптимизация конструктивно-высотных параметров дождевальной техники в зависимости от условий эксплуатации и поливаемых агрокультур. В статье рассматривается оптимизация конструктивно-высотных параметров, длины пролетов машины в зависимости от рельефа местности и высоты поливаемых агрокультур. Агротехническая проходимость оценивалась посредством отношения агропросвета к высоте растений на наиболее сложном рельефе. Проведенные исследования показывают, что в целях повышения эффективности эксплуатации (снижения буксования и исключения остановки), а также исключения заминаемости растений отношение величины агропросвета к высоте растений должно составлять более 0,7. Представлены результаты экспериментальных исследований и рекомендации оптимальных соотношений высоты профиля, пролета машины, уклона местности и поливаемых культур. При эксплуатации на уклонах величиной более 0,08 высота подъема трубопровода над поверхностью земли 2,7 м при величине пролетов 59,5 и 65 м является недостаточной – необходимы более высокопрофильные модели. При этом увеличение профиля ограничивается металлоемкостью и тягово-сцепными свойствами. Значение выбирается как минимально возможное при обеспечении агротехнической проходимости.

**Ключевые слова:** параметры, дождевальная машина широкозахватного действия, условия эксплуатации, пролет, агропросвет, уклон, рельеф

**Формат цитирования:** Журавлева Л.А., Алдиаб Анас. Оценка конструктивно-высотных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия // Природообустройство. 2024. № 3. С. 37-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-37-43>

Original article

## EVALUATION OF THE STRUCTURAL AND HEIGHT PARAMETERS OF WIDE-SPAN CIRCULAR SPRINKLER MACHINES

L.A. Zhuravleva , Aldiab Anas

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

**Abstract.** One of the most effective and widespread irrigation methods in the central part of the Russian Federation is sprinkling, and the most common are wide-range circular sprinkler machines. The aim is to optimize the design and height parameters of sprinkler equipment, depending on the operating conditions and irrigated crops. The article considers the optimization of structural and height parameters, machine span lengths depending on the terrain and height of irrigated crops. Agrotechnical patency was assessed by the ratio of agricultural illumination to the height of plants on the most difficult terrain. The conducted studies show that in order to increase the efficiency of operation (reduce slipping and eliminate stopping), as well as eliminate plant jamming, the ratio of the value of agricultural illumination to plant height should be more than 0.7. The results of experimental studies and recommendations of optimal ratios of profile height, machine span, terrain slope and watered crops are presented. When operating on slopes of more than 0.08, the lifting height of the pipeline above the ground is 2.7 m with spans of 59.5 and 65 m is not sufficient, higher-profile models are needed. At the same time, the increase in the profile is limited by metal consumption and traction properties. The value is selected as the minimum possible while ensuring agro technical passability.

**Keywords:** parameters of wide-range sprinkler machines, operating conditions, span, agricultural illumination, slope, relief

**Format of citation:** Zhuravleva L.A., Aldiab Anas. Evaluation of the structural and height parameters of wide-span circular sprinkler machines // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 37-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-37-43>

**Введение.** Агропроизводство на территории Российской Федерации осуществляется в достаточно сложных природно-климатических условиях, при недостатке атмосферных осадков на 80% пахотных земель. Без дополнительного полива гарантировать высокий урожай достаточно сложно.

Одним из эффективных в средней полосе Российской Федерации методов полива является дождевание, а наиболее распространенные – широкозахватные дождевальные машины кругового действия.

При проектировании широкозахватной дождевальной техники важно соблюдать такие пропорции металлоконструкции, как длина пролета, высота подъема водопроводящего трубопровода над уровнем земли, клиренс ходовых тележек и другие с точки зрения обеспечения полива культур определенной высоты (в частности, высокостебельных) и проходимости. При этом увеличение высоты конструкции, а значит, и металлоемкости является экономически нецелесообразным.

Проблемам оптимизации конструктивно-технологических параметров дождевальной техники посвящены работы многих ученых [1-14]. Целью оптимизации конструктивно-технологических параметров является обеспечение минимальной металлоемкости, а значит, стоимости при сохранении технологических возможностей и обеспечении качества полива.

Большинство моделей как российского, так и западного производства, различается по высоте профиля. Западные производители классифицируют его на 4 категории по высоте [15-18]: низкого профиля – 1,8-2,5 м; стандартного – порядка 2,7-3,0 м; высокого – 3,5-4,4 м; сверхвысокого – более 4,5 м (например, для полива кукурузы, стебли которой могут достигать высоты 4-5 м).

Российская классификация отсутствует, поскольку большинство новых российских компаний – производителей современных широкозахватных дождевальных машин – находятся на рынке не более 10 лет и только наращивают номенклатуру различных моделей.

Основным принципом выбора варианта модели, в том числе по высоте, является обеспечение надежности конструкции, возможности выполнения технологии полива требуемых культур при минимальных затратах.

Разработка широкозахватной дождевальной техники российского производства с высокими эксплуатационными характеристиками в доступном ценовом диапазоне является актуальной

задачей, требующей теоретических исследований и решения практических вопросов.

**Цель исследований:** оптимизация конструктивно-высотных параметров дождевальной техники в зависимости от условий эксплуатации и поливаемых агрокультур.

**Материалы и методы исследований.** Одними из способов экономии материальных ресурсов являются оптимизация конструктивных элементов и узлов дождевальных машин, снижение металлоемкости при обеспечении прочности.

Снижение металлоемкости широкозахватных дождевальных машин может быть обеспечено:

– уменьшением количества ходовых тележек на ту же длину машины за счет увеличения расстояния между ними;

– снижением металлоемкости тележек со счет совершенствования форм деталей и узлов;

– уменьшением массы фермы за счет совершенствования конструкции, применения трубопровода с уменьшенной массой (толщины трубопровода) или использования переменного диаметра труб, что ограничивается требуемым расходом воды.

Увеличение расстояния между ходовыми тележками (пролета) ограничивается прочностью конструкции и условиями эксплуатации, то есть проходимостью. Наиболее существенное влияние оказывает совместимость профильных свойств машины с рельефом местности.

Профильные свойства можно подразделить на 2 категории: рельефную проходимость, зависящую от гибкости и прочности водопроводящего трубопровода; агротехническую проходимость, характеризующуюся конструктивно-высотными параметрами.

Гибкость и прочность трубопровода обеспечиваются конструктивными решениями фермы, установкой гибких соединений, исполнениями шпренгельных систем и соединительных муфт.

От конструктивно-высотных параметров машины зависят заминаемость растений, буксование, останки или поломки, что усугубляется при уклонах поверхности.

Агротехнический просвет ДМ «Фрегат» Н уменьшается по причине прогиба трубопровода и образования колеи (рис. 1). Известно, что только колея может к концу сезона достигать 1/3 диаметра колеса. В этих случаях может не обеспечиваться полив.

Известно, что наибольшее влияние на колею образования оказывает влажность. Этот

процесс особенно выражен при поливе большими поливными нормами. В таких случаях почва увлажняется до предела текучести, и при воздействии ходовых систем происходит не уплотнение, а ее пластическое течение.

Для машин ферменной конструкции водопроводящего пояса типа «Кубань» просвет уменьшается по причине выпуклости рельефа и колееобразования при незначительных прогибах от веса конструкции (рис. 2).

Агротехническую проходимость можно оценить как отношение агропросвета к высоте растений в наиболее сложных условиях рельефа. Значение должно составлять не менее определенной величины:

$$H_2/h \geq \text{const}, \quad (1)$$

где  $H_2$  – агротехнический просвет;

$$H_2 = H - S, \quad (2)$$

где  $h$  – высота растений, м;  $S$  – величина уменьшения агротехнического просвета, м.

Допускаемое уменьшение агропросвета:

$$S = f_1 + f_2 + H; \quad (3)$$

$$S = h_2 + h_3 + H, \quad (4)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  – прогиб гибкого пролета от уклона поверхности и веса трубопровода машины, м;  $h_2$  и  $h_3$  – уменьшение агропросвета по причине выпуклостей рельефа и прогиба пролета, м;  $H$  – глубина погружения колес, м.

Рассмотрим условия работы для машин с вантовой и жесткой системой подвески на примерах машин ДМ «Фрегат» и ДМ типа «Кубань-ЛК1». В соответствии с техническими характеристиками агротехнический просвет для «Фрегата» составляет 2,2 м. Высота, например, кукурузы составляет 3 м. Тогда для ровного рельефа  $2,2/3 = 0,7 \geq \text{const}$ .

Для ДМ «Кубань-ЛК1», ДМ «КАСКАД»:

$$2,7/3 = 0,9 \geq \text{const}.$$

Для ДМ «КАСКАД» с пролетом 59,5 м и высотой 2,9 м:

$$2,9/3 = 0,96 \geq \text{const}.$$

Согласно руководству [4] допускается прогиб до 0,6 м при пролетах 48 м и трубопроводе диаметром 159 мм. При увеличении глубины колеи до 0,25 м агропросвет уменьшается до 0,61.

Глубина колеи зависит в основном от нагрузки конструкции на ходовые тележки, характеристик почвы и поливной нормы и определяется как [4]

$$H = \frac{1,2F}{[P - (1,4M_D^{0,65} + 8 \cdot 1,01^M)]b\sqrt{D}}, \quad (5)$$

где  $F$  – нагрузка на колесо, кН;  $P$  – несущая способность почвы, МПа;  $M_D$  – достокочная поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $M$  – величина образуемого стока, м<sup>3</sup>/га;  $b$  – ширина обода, м;  $D$  – диаметр колеса, м.

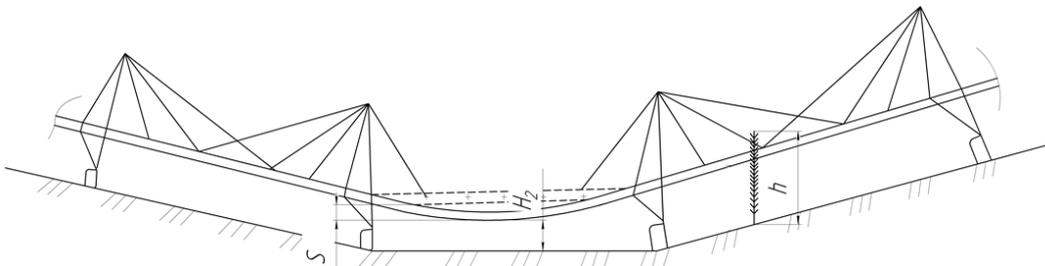


Рис. 1. Конструктивно-высотные свойства машин вантовой конструкции водопроводящего пояса

Fig. 1. Structural and height properties of machines of the cable-stayed construction of the water conducting belt

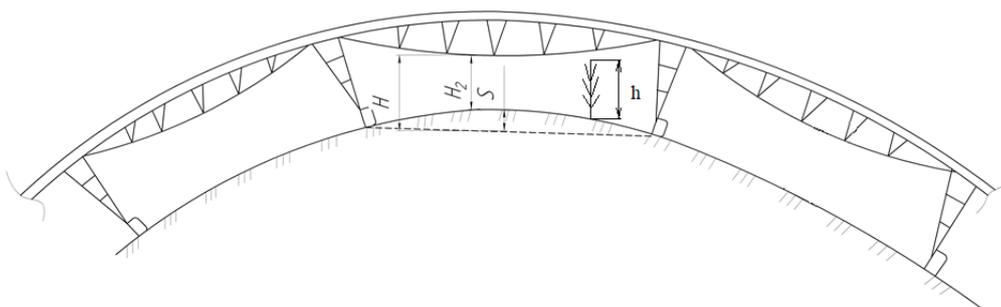


Рис. 2. Конструктивно-высотные свойства машин ферменной конструкции водопроводящего пояса

Fig. 2. Structural and high-altitude properties of machines of the truss structure of the water belt

При увеличении длины пролета необходимо поднимать высоту трубопровода. Тем не менее нужно понимать, что при этом увеличится металлоемкость и снизится проходимость. Не допустить увеличения металлоемкости можно применением тонкостенных трубопроводов, установкой трубопроводов переменного диаметра или уменьшением диаметра труб, если позволяет расчетный расход, то есть норма полива.

Для модели машины с длиной пролета 65 м допускаемая величина прогиба составляет 0,7 [8, 9], и при глубине колеи 0,25 м для обеспечения агропросвета в пределах 0,6 необходимо увеличить высоту подъема трубопровода минимум до 2,8 м.

При местных выпуклостях рельефа, в том числе технологических, снижение агропросвета может быть более значительным.

С точки зрения себестоимости машины при увеличенных пролетах целесообразным является применение машин на ровном рельефе и невысоких агрокультурах. При увеличении профиля машины для обеспечения полива высокостебельных культур резко увеличивается стоимость, а при увеличении длины пролета снижается проходимость.

Полевые исследования проводились на базовых модификациях дождевальных машин «Фрегат» и «Кубань» с пролетами 48, 59 и 65 м. При этом определялись прогиб, глубина погружения колес, агротехнический просвет на ровном рельефе и его снижение в начале, середине и конце водопроводящего трубопровода при движении по местным неровностям и уклонам. Прогиб ферм измерялся посредством визиров и реек. Техническая характеристика машин приведена в таблице 1.

Максимально допустимый общий уклон вдоль трубопровода машины для ДМ «Фрегат» и «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48 м составляет 0,05; для моделей «Кубань-ЛК1» и «КАСКАД» с пролетами 59 м и моделями «КАСКАД» с пролетами 65 м – 0,07. Допустимый уклон по ходу движения для всех моделей машин составляет 0,07.

Максимально допустимая разность местных уклонов тележки относительно двух соседних для «Фрегат» составляет 0,16-0,22; для моделей «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48 м – 0,08; для моделей «КАСКАД» с пролетами 59 м и с пролетами 65 м – 0,07.

Агротехнический просвет машин «Фрегат» составляет 2,2 м; машин моделей «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» – 2,7 м; моделей «КАСКАД» – 2,9 м.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты полевых исследований глубины колеи для ДМ «Кубань-ЛК1М» (шины 14,9-24) показаны на рисунке 3. Величина глубины колеи при первом проходе зависит от порядкового номера опорной тележки, то есть от расстояния от основной опоры, что объясняется временем воздействия нагрузки на почву.

В конце поливного сезона глубина колеи ближе к концу трубопровода может увеличиваться за счет увеличения расхода и крупности капель дождевателей с большим диаметром сопла.

Полученные результаты полевых исследований представлены в таблице 2.

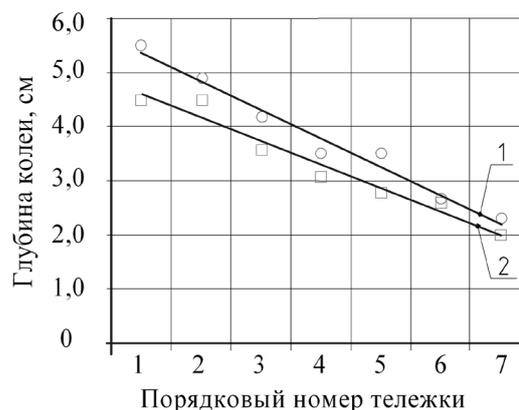


Рис. 3. Зависимость глубины колеи от расстояния от основной опоры: 1 – пролет 59,5 м; 2 – пролет 48,7 м

Fig. 3. Dependence of the track depth on the distance from the main support: 1 – span 59.5 m; 2 – span 48.7 m

Таблица 1. Технические характеристики ДМ [5, 8]

Table 1. Technical specifications of DM [5, 8]

Показатель Indicator	Марка/пролет в метрах / Grade/span in meters				
	ДМУ-В 463-90	«Кубань-ЛК1»	«Кубань-ЛК1М» / 48	«КАСКАД» / 59	«КАСКАД» / 65
<b>Расстояние от трубопровода до поверхности земли, м (без уклона)</b> <i>Distance from the pipeline to the ground surface, m (without slope)</i>	2,20	2,70	2,70	2,80	2,90
<b>Дорожный просвет, м / Ground clearance, m</b>	0,50	0,45	0,5	0,5	0,5
<b>Тип ходовой системы / Type of running system</b>	<b>Жесткие</b> <i>Rigid</i>	<b>Пневматические</b> <i>Pneumatic</i>			

Таблица 2. Результаты полевых исследований

Table 2. Results of field research

Марка Grade	Высота агро- культуры, м Height of the agro crop, m	Уменьшение агропросвета, м Reduction of agricultural clearance, m	Агро-про- свет м Agro-clear- ance, m	Результат наблюдений Observation result	H <sub>2</sub> /h
«Фрегат»	2,3	0,40 0,63	1,80 1,57	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,78 0,68
	2,0	0,60 0,80 1,00	1,6 1,7 1,2	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,80 0,85 0,60
«Кубань-ЛК1М	2,0	0,60 1,00 1,30	2,1 1,7 1,4	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,05 0,85 0,7
	2,6	0,70 0,90 1,10	2,0 1,8 1,6	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,74 0,69 0,61
	3,2	0,70 0,90 1,00	2,0 1,8 1,7	<b>Остановка машины</b> <i>Machine stop</i>	0,62 0,56 0,53
«КАСКАД»	2,3	0,5 0,9 1,1	2,4 2,0 1,8	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,04 0,86 0,78
	2,8	0,90 1,20 1,50	2,0 1,7 1,4	<b>Раминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i>	0,71 0,60 0,50
	3,0	0,50 0,80 1,30 1,50	2,4 2,1 1,6 1,4	<b>заминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i>	0,82 0,70 0,55 0,48
«Фрегат»	2,3	0,40 0,63	1,80 1,57	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,78 0,68
	2,0	0,60 0,80 1,00	1,6 1,7 1,2	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,80 0,85 0,60
«Кубань-ЛК1М	2,0	0,60 1,00 1,30	2,1 1,7 1,4	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,05 0,85 0,7
	2,6	0,70 0,90 1,10	2,0 1,8 1,6	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,74 0,69 0,61
	3,2	0,70 0,90 1,00	2,0 1,8 1,7	<b>Остановка машины</b> <i>Machine stop</i>	0,62 0,56 0,53
«КАСКАД»	2,3	0,5 0,9 1,1	2,4 2,0 1,8	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,04 0,86 0,78
	2,8	0,90 1,20 1,50	2,0 1,7 1,4	<b>Заминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i>	0,71 0,60 0,50
	3,0	0,50 0,80 1,30 1,50	2,4 2,1 1,6 1,4	<b>заминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Stop</i>	0,82 0,70 0,55 0,48

Рельеф при проведении полевых исследований оценивался как ровный. Агрокультура – кукуруза. Тип почвы и название по механическому составу – темно-каштановый суглинок. Полевые испытания: Саратовская область, Марксовский район. Испытания проведены на соответствие требованиям ТУ по рабочей программе-методике ФГБУ «Поволжская МИС», ПД 100-00-000СБ «Обоснования безопасности дождевальной машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД).

Проведенные полевые исследования показывают, что в целях повышения эффективности и надежности эксплуатации (снижения буксования и исключения останова), а также исключения заминаемости растений отношение величины агропросвета к высоте растений должно составлять более 0,7.

Очевидно, что при эксплуатации на уклонах величиной более 0,08 высота подъема трубопровода над поверхностью земли 2,7 м при величине пролетов 59 и 65 м является недостаточной – необходимы более высокопрофильные модели. Однако увеличение профиля ограничивается

металлоемкостью и тягово-цепными свойствами. Значение выбирается как минимально возможное при обеспечении агротехнической проходимости.

При эксплуатации на уклонах более 0,08 и в сложных грунтовых условиях рациональными с точки зрения проходимости являются модификации с меньшими пролетами длиной 48 м и увеличенной колесной базой, а также трехколесной ходовой системой.

### Выводы

Разработка широкозахватной дождевальной техники с высокими эксплуатационными характеристиками и надежностью в доступном ценовом диапазоне является актуальной задачей, требующей оптимизации конструктивно-технологических параметров с учетом условий эксплуатации.

Проведенные исследования показали, что в целях повышения эффективности эксплуатации и исключения заминаемости растений отношение величины агропросвета к высоте растений должно составлять более 0,7.

### Список использованных источников

1. Абдразаков Ф.К., Журавлева Л.А., Соловьев В.А. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин // Аграрный научный журнал. 2018. № 5. С. 37-41.
2. Евсеев Е.Ю., Рязанцев А.И., Ремболович Г.К. и др. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 2. С. 119-124.
3. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин // Научная жизнь. 2017. № 9. С. 20-28.
4. Журавлева Л.А., Нгуен В.Т. Экспериментально-теоретические исследования системы «Норма полива – почва – дождевальная машина» // Аграрный научный журнал. 2021. № 10. С. 103-107.
5. Руководство по эксплуатации ЭК-100.000РЭ. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1». Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции ЭК-100.000РЭ. СКБ ДМ «Дождь». М., 1991. 99 с.
6. Слюсаренко В.В., Журавлева Л.А., Рыжко Н.Ф. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низком напоре // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 22.
7. Снопич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: Дис. ... д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2011. 340 с.
8. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1 (41). С. 38-43.
9. Патент на изобретение RU2654341 С1 / Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Кузнецов П.Е., Журавлева Л.А.,

### References

1. Abdrazakov F.K., Zhuravleva L.A., Soloviev V.A. Rational reduction of metal intensity in the design of wide-span sprinkling machines / F.K. Abdrazakov, L.A. Zhuravleva, V.A. Soloviev. // Agrarian scientific journal. 2018. № 5. P. 37-41.
2. Evseev E.Yu. Technical solutions to improve the productivity of a multifunctional circular machine in slope areas / E.Yu. Evseev A.I. Ryazantsev, G.K. Rembalovich [and others] // Bulletin of the Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. 2023. V. 15. № 2. P. 119-124.
3. Esin A.I. Mathematical modeling of the water-conducting belt of sprinkler machines. / A.I. Esin, D.A. Soloviev, L.A. Zhuravleva. Scientific life. 2017. № 9. P. 20-28.
4. Zhuravleva L.A., V.T. Nguyen. Experimental and theoretical studies of the system "irrigation rate – soil – sprinkler machine" // Agrarian scientific journal. 2021. № 10. P. 103-107.
5. EK-100.000RE operation manual. Kuban-LK1 electric circular sprinkler machine. Instruction manual. Technical description and instructions of the EK-100.000RE. SKB DM "Rain" Moscow: 1991. 99 p.
6. Slyusarenko V.V. Experience of operating the DM "Fregat" at a low head. / V.V. Slyusarenko, L.A. Zhuravleva, N.F. Ryzhko. Land reclamation and water management. 2004. № 1. P. 22.
7. Snipich Yu.F. Intensification of technologies and improvement of technical means of sprinkling irrigation: dis. of the doctor of technical sciences. – Novocherkassk, 2011. – 340 p.
8. Soloviev D.A., Zhuravleva L.A. Influence of the movement regime of sprinkler machines on the irrigation rate. 2018. № 1 (41). P. 38-43.

Гомберг С.В. Многосекционная дождевальная машина кругового действия. 17.05.2018. Заявка № 2016146578 от 28.11.2016.

10. **Рязанцев А.И. и др.** Повышение тягово-сцепных свойств ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия «Фрегат» // Техника и технологии агропромышленного комплекса: Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2009. № 3. С. 19-22.

11. **Рязанцев А.И.** Оценка параметров ходовой системы «Кубань-ЛК1» при выравнивании колеи / Зазюля А.Н., Евсеев Е.Ю. и др. // Наука в центральной России. 2023. № 1 (61). С. 116-123.

12. **Смирнов А.И.** Некоторые пути снижения сопротивления качению многоопорных электрифицированных дождевальных машин / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю. и др. // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии. 2021. С. 271-274.

13. **Esin A.I., Zhuravleva L.A., Boikov V.M., Mukhin V.A.** Mathematical modeling of water conducting belt for circular action sprinkler // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Т. 10, № 10. Special Iss. С. 2135-2141.

14. Zhuravleva L.A. Fedyunina T.V., Evsyukova L.Yu., Rusinov A.V., Kolganov D.A. Features of Investing in Reconstruction of Reclamation Objects by the Example of Irrigation Systems of the Saratov Region // Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № 4. P. 19.

15. Каталог BAUER. Самая эффективная система под солнцем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.bauer-at.com](http://www.bauer-at.com) (дата обращения: 28.05.2024).

16. Каталог ирригационной продукции Zimmatic by Lindsay. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com) (дата обращения: 28.05.2024).

17. Каталог T-L Irrigation Company sales@tlirr.com. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.tlirr.com](http://www.tlirr.com) (дата обращения: 28.05.2024).

18. Каталог продукции Valley. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.valmont.com/](http://www.valmont.com/) (дата обращения: 28.05.2024).

9. Patent for invention of RU2654341 C1. / Authors: Soloviev D.A., Soloviev V.A., Kuznetsov R.E., Zhuravleva L.A., Gomberg S.V. Multisectional circular sprinkler machine. 17.05.2018. Application No 2016146578 dated 28.11.2016.

10. **Ryazantsev A.I.** Improving the traction and coupling properties of running systems of wide-span sprinkling machines of circular action "Fregat" / A.I. Ryazantsev [and others] // Technics and technologies of the agro-industrial complex / Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education of the Moscow State Agrarian University. 2009. № 3. P. 19-22.

11. **Ryazantsev A.I.** Assessment of the parameters of the running system "Kuban-LK1" when levelling the track / A.I. Ryazantsev, A.N. Zazulya, E.Yu. Evseev [and others] // Science in the Central Russia. 2023. № 1 (61). P. 116-123.

12. **Smirnov A.I.** Some ways for reduction of rolling resistance of multi-support electrified sprinkler machines / A.I. Smirnov, A.I. Ryazantsev, E. Yu/ Evseev [and others] // Development of scientific and resource potential of agrarian production: priorities and technologies. 2021. P. 271-274.2021.

13. **Esin A.I.** Mathematical modeling of water conducting belt for circular action sprinkler. / A.I. Esin, L.A. Zhuravleva, V.M. Boikov, V.A. Mukhin // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Т. 10. № 10 Special Issue. P. 2135-2141

14. **Zhuravleva L.A.** Features of Investing in Reconstruction of Reclamation Objects by the Example of Irrigation Systems of the Saratov Region. / L.A. Zhuravleva, T.V. Fedyunina, L.Yu. Evsyukova., A.V. Rusinov, D.A. Kolganov. Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № S4. P. 19.

15. Catalogue BAUER. The most effective system under sun [Electronic resource]. – Access mode: [www.bauer-at.com](http://www.bauer-at.com). – (Access date: 28.05.2024).

16. Catalogue of irrigation products Zimmatic by Lindsay [Electronic resource]. – Access mode: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com). – (Access date: 28.05.2024).

17. Catalogue T-L Irrigation Company sales@tlirr.com [Electronic resource]. – Access mode: [www.tlirr.com](http://www.tlirr.com) – (Access date: 28.05.2024).

18. Catalogue of products Valley [Electronic resource]. – Access mode: / [www.valmont.com/](http://www.valmont.com/) – (Access date: 28.05.2024).

#### Об авторах

**Лариса Анатольевна Журавлева**, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; РИНЦ ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; [dfz@yandex.ru](mailto:dfz@yandex.ru)

**Алдиаб Анас**, аспирант кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ; [anasaldiab123@gmail.com](mailto:anasaldiab123@gmail.com)

#### About the authors

**Larisa A. Zhuravleva**, DSC (Eng), associate professor; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; RINTS ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; [dfz@yandex.ru](mailto:dfz@yandex.ru)

**Aldiab Anas**, post graduate student of the department of organization and technologies of hydro reclamation and building works; [anasaldiab123@gmail.com](mailto:anasaldiab123@gmail.com)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Журавлева Л.А., Алдиаб Анас выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.02.2024

Zhuravleva L.A., Aldiab Anas carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-44-52>

УДК 631.6:504.4.062.2



## ПРОБЛЕМА ОПУСТЫНИВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ ВЫЗОВОВ СОВРЕМЕННОМУ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ

В.И. Сметанин<sup>✉</sup>, Хунас Каси

<sup>1</sup>ФНЦ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный технический университет; 414056, Астраханская область, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, Россия

**Аннотация.** Цель исследований – анализ причин опустынивания земель, поиск путей сдерживания темпов опустынивания и восстановления ранее опустыненных земель. Опустыниванию подвержены территории с жарким климатом, минимальными осадками и сильными ветрами. Годовая сумма осадков не превышает 200... 50 мм, а в отдельных местах их вообще не бывает в течение ряда лет. Почвенный слой на таких территориях слабо развит, растительный покров покрывает меньше половины земной поверхности, а в отдельных случаях практически отсутствует. Подземные воды, как правило, минерализованы. На территориях в таких природных условиях наблюдается деградация почвы, происходит потеря плодородия, уменьшается биоразнообразие, что в итоге приводит к их опустыниванию. С использованием аналитического метода исследований определены основные причины, вызывающие деградацию земель и ее последствия, приводящие к опустыниванию территорий. Предложены пути снижения темпов деградации сельскохозяйственных земель и восстановления ранее опустыненных территорий.

**Ключевые слова:** опустынивание земель, пустыня, экологическая безопасность, биоразнообразие, продовольственная безопасность, джужгун, облесение, деградация

**Формат цитирования:** Сметанин В.И., Хунас Каси. Проблема опустынивания земель как один из основных вызовов современному человечеству // Природообустройство. 2024. № 3. С. 44-52. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-44-52>

Scientific article

## THE PROBLEM OF LAND DESERTIFICATION – AS ONE OF THE MAIN CHALLENGES TO MODERN HUMANITY

V.I. Smetanin<sup>✉</sup>, H. Kaci

<sup>1</sup>Federal Scientific Center FSBI All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, bldg. 2, Russia

<sup>2</sup>Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan Region, Astrakhan, Tatishchev Street, bld. 16/1, Russia

**Abstract.** The purpose of the research is to analyze the causes of land desertification and find ways to curb the rate of desertification and restore previously desolate lands. Areas with a hot climate, minimal precipitation and strong winds are prone to desertification. The annual amount of precipitation does not exceed 200... 50 mm, and in some places they do not happen at all for several years. The soil layer in such territories is poorly developed, vegetation covers less than half of the earth's surface, and in some cases is practically absent. Groundwater is usually mineralized. In territories with such natural conditions, soil degradation is observed, loss of its fertility, and biodiversity decreases, which ultimately leads to desertification of territories. The article presents the main causes of land degradation and its consequences. The main causes of land degradation and leading to desertification of territories have been identified. Ways to reduce the rate of degradation of agricultural lands and restore previously deserted territories are proposed.

**Keywords:** degradation, desertification, desert, ecological safety, biodiversity, food security, juzgun, afforestation

**Format of citation:** Smetanin V.I., H. Kaci. The problem of land desertification – as one of the main challenges to modern humanity // Prirodobustroystvo. 2024. No. 3. P. 44-52. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-44-52>

**Введение.** Природа одарила пустыни высокой интенсивностью солнечного света, оптимальными тепловыми ресурсами и длительным вегетационным периодом. Однако остается такая важная проблема, как недостаток влаги. Для решения этой проблемы ведутся работы по созданию современных технологий опреснения морских и минерализованных подземных вод, использованию энергии солнца и ветра в качестве источников электроэнергии, проверенных средств борьбы с опустыниванием и засолением земель, восстановлению природного потенциала пустыни там, где возникает такая необходимость. В связи с этим актуальной является необходимость создания системы надежного прогнозирования природопользования в аридных зонах, что возможно путем объединения усилий ученых и практиков всего мира для обмена опытом по созданию программ дальнейших работ, направленных на решение назревших проблем рационального освоения природных богатств земель аридных зон [1, 2].

Впервые на опустынивание как экологическую проблему мировая общественность обратила внимание в 60-е гг. прошлого столетия. Сегодня опустынивание признано как одна из самых насущных мировых проблем.

Деградация земель является одной из самых острых экологических проблем современности, затрагивающей жизни и благосостояние миллиардов людей по всему миру. Согласно ЮНЕСКО около 3,2 млрд чел., или почти половина населения земного шара, сталкиваются с последствиями деградации земель [1, 2].

**Материалы и методы исследований.** Использован аналитический метод исследований для определения основных причин, вызывающих деградацию земель и ее последствия.

Как следует из структуры земельных ресурсов мира, 28% (около  $3,7 \times 10^9$  га) составляют

малопродуктивные и непродуктивные земли: болота, пустыни, ледники и др. В зависимости от проявления человеческой активности и изменения климата наблюдается увеличение этой доли земель – в основном за счет деградации, постепенного опустынивания земель сельскохозяйственного использования и земель лесного фонда. Наибольшую тревогу вызывают территории с минимальными осадками, жарким климатом и сильными ветрами.

*Пути решения проблемы.* Опустынивание оказывает влияние на продовольственную безопасность, усугубляет положение, связанное с нищетой населения, и социальную нестабильность, а также способствует усилению миграционных потоков. Мировая тенденция деградации сельскохозяйственных земель показывает, что начиная с 1960 г. площадь деградированных земель составляла  $1,240 \times 10^9$  га, через 25 лет, в 1985 г., было деградировано около  $1,275 \times 10^9$  га, в 1985 г. –  $1,375 \times 10^9$  га. Это демонстрирует достаточно высокую интенсивность ежегодного опустынивания сельскохозяйственных земель (около  $4 \times 10^6$  га/год).

К 2020 г. деградировано около  $1,4 \times 10^9$  га земель сельскохозяйственного назначения использования. В период с 1985 по 2020 гг. ежегодное снижение потерь земель составляло около  $0,56 \times 10^9$  га. Такие темпы ежегодного опустынивания земель побудили мировую общественность к созданию в 1994 г. Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке [3].

Если текущие темпы эксплуатации природных ресурсов и изменения в землепользовании сохранятся, то к 2050 г. мир может столкнуться с серьезными экологическими проблемами включая дальнейшую потерю биоразнообразия,

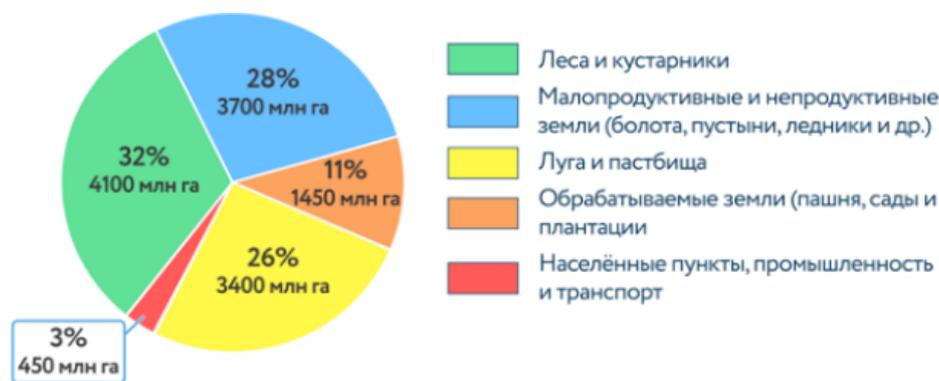


Рис. 1. Структура земельных ресурсов мира

Fig. 1. Structure of land resources of the World

[https://foxford.ru/wiki/geografiya/zemelnye-resursi-mira?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F](https://foxford.ru/wiki/geografiya/zemelnye-resursi-mira?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F)

усиление эффектов изменения климата и сокращение природных ресурсов, необходимых для жизнедеятельности человека [3].

По заключению ООН, на развитие процессов опустынивания в большей степени влияние оказывают изменение климата и утрата биоразнообразия. С учетом нынешних темпов опустынивания к 2025 г. каждый пятый житель земли будет проживать на территории, подверженной засухе.

Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием является с 1994 г. ключевым международным инструментом, направленным на содействие устойчивому управлению земельными ресурсами и борьбе с деградацией земель и опустыниванием. В соответствии с принятой резолюцией участники Конвенции обязаны разрабатывать национальные программы снижения деградации земель и восстановления почв, а также обмениваться информацией и технологиями в этой области [3].

В Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке, отмечается, что ежегодные потери продуктивных земель в мире составляют не менее  $100 \times 10^6$  га. Опустынивание и засуха являются проблемами, имеющими глобальные масштабы, затрагивающие все регионы мира [3]. В связи с этим странам – участницам Конвенции ООН – рекомендовано установить общие цели и разработать механизмы достижения устойчивого управления земельными ресурсами, снижения темпов деградации сельскохозяйственных земель и восстановления уже пострадавших территорий.

В регионах Восточной и Центральной Азии, Латинской Америки и в странах Карибского бассейна наблюдается наиболее высокая деградация земель, затрагивающая не менее 20% общей площади сельскохозяйственных угодий. В Африке, к югу от Сахары, в Западной и Южной Азии деградация также опережает среднемировые показатели, что делает ситуацию особенно тревожной.

В таблице приведены причины и возможные последствия деградации сельскохозяйственных земель.

Данные ООН свидетельствуют также о значительной деградации земель в мире, особенно в Центральной Азии, где более 1/5 земель подвержено процессу опустынивания.

Несмотря на серьезность сложившейся ситуации, есть успешные примеры борьбы с деградацией земель. Так, в Узбекистане удалось

сократить долю деградированных земель с 30 до 26% за счет посадки саксаула на площади  $1,6 \times 10^6$  га, в Кыргызстане и Туркменистане также проводятся мероприятия по устойчивому землепользованию и озеленению пустынь.

Отдельные исследования указывают на угрозу деградации площади  $1 \times 10^9$  га потенциально засушливых земель. В докладе ФАО (FAO of the United Nations) предлагается применение фитомелиоративных подходов к системе управления сельскохозяйственными угодьями с привлечением необходимых инвестиций, направленных на развитие устойчивого землепользования и восстановление деградированных земель [3].

Разработка и реализация национальных проектов по борьбе с опустыниванием включают в себя не только экологические, но и социально-экономические аспекты – такие, как снижение уровня бедности, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение климатических условий.

Региональные проекты по предотвращению и восстановлению опустыненных территорий охватывают ряд стран Африканского континента, Азии, Латинской Америки и Карибского бассейна, Северного Средиземноморья, а также страны Центральной и Восточной Европы. Эти проекты предлагают акцентировать внимание на вопросах не только снижения деградации земель в аридных зонах, но сохранения лесов во внеаридных зонах. Решение таких проблем базируется на недопущении уменьшения лесных массивов, истощения плодородия почв, ухудшения состояния почвозащитных сооружений и на проведении мероприятий, позитивно влияющих не только на аридные регионы, но и на всю планету в целом [4-6].

Как отмечено в данных таблицы, опустынивание прогрессирует через серию взаимосвязанных процессов, которые усугубляются человеческой деятельностью и изменением климата. Процесс деградации земель может быть замедленным или ускоренным в результате определенных действий или событий.

**Результаты и их обсуждение.** Разработка и реализация национальных стратегий по борьбе с опустыниванием включают в себя не только экологические, но и социально-экономические аспекты. Примером этого являются проект «Великая Зеленая Стена», осуществляемый в Африке и Китае, а также проекты, выполняемые в других регионах планеты.

Проект «Великая Зеленая Стена» направлен на борьбу с опустыниванием земель, улучшение климата, решение социальных проблем

Таблица. Причины и возможные последствия деградации сельскохозяйственных земель  
 Table. Causes and possible consequences of agricultural land degradation

Причина / Reason	Последствия / Consequences
<b>Биологическое истощение / Biological depletion</b>	
<b>Недостаток влаги</b> <i>Lack of moisture</i>	<b>Снижение активности почвенных бактерий, раннее увядание травяного покрова, деградация древесно-кустарниковой растительности, степные пожары, ухудшение плодородия земель и снижение урожайности сельскохозяйственных культур</b> <i>Decrease in the activity of soil bacteria, early wilting of grass cover, degradation of tree and shrub vegetation, steppe fires, deterioration of land fertility and decrease in crop yields</i> <b>Деградация земель</b> <i>Land degradation</i>
<b>Химическое воздействие / Chemical impact</b>	
<b>Избыточное внесение химикатов и их накопление в почве</b> <i>Excessive application of chemicals and their accumulation in the soil</i>	<b>Изменение показателя pH, снижение активности почвенных бактерий и уменьшение микроорганизмов в почве, ухудшение плодородия земель, снижение урожайности сельскохозяйственных культур</b> <b>Деградация земель</b> <i>Change in the pH value, decrease in the activity of soil bacteria and microorganisms in the soil, deterioration of land fertility, decrease in crop yields</i> <i>Land degradation</i>
<b>Физическое воздействие / Physical impact</b>	
<b>Использование тяжелой техники при возделывании сельскохозяйственных культур</b> <b>Нерегулируемый выпас сельскохозяйственных животных</b> <i>Use of heavy machinery in the cultivation of crops</i> <i>Unregulated grazing of farm animals</i>	<b>Изменение физико-механических свойств почв за счет уплотнение и слитизация почвенного слоя</b> <b>Низкое поедания трав, вытаптывание и разрушение тонкого почвенного слоя</b> <b>Деградация и опустынивание</b> <i>Changes in the physical and mechanical properties of soils due to compaction and fusion of the soil layer. Low eating of herbs, trampling and destruction of a thin soil layer</i> <i>Degradation and desertification</i>
<b>Сельскохозяйственное использование почв / Agricultural use of soils</b>	
<b>Интенсивное использование почв</b> <i>Intensive use of soils</i>	<b>Нарушение внутрипочвенных процессов, изменение структуры почвы, снижение устойчивости к эрозионным процессам</b> <b>Деградация земель</b> <i>Violation of intrasoil processes, change of soil structure, decrease of resistance to erosion processes</i> <i>Degradation of lands</i>
<b>Экологическая причина / Ecological reason</b>	
<b>Вырубка и деградация земель лесного фонда, нарушение биоразнообразия</b> <i>Deforestation and degradation of forest lands, violation of biodiversity</i>	<b>Санитарная вырубка, лесные и торфяные пожары. Снижение выделения O<sub>2</sub> и недопоглощение CO<sub>2</sub>, разрушающее воздействие на озоновый слой</b> <b>Сокращение биоразнообразия, изменение климата и деструктуризация ландшафта в сторону последующего опустынивания земель</b> <i>Sanitary deforestation, forest and turf fires</i> <i>Reduction of O<sub>2</sub> emissions and underabsorption of CO<sub>2</sub>, which depletes the ozone layer</i> <i>Reduction of biodiversity, climate change and destructuralization of landscape towards further desertification</i>
<b>Климатические условия / Climatic conditions</b>	
<b>Малая годовая сумма осадков, высокие температуры атмосферного воздуха днем и низкие по ночам, наличие минерализованных грунтовых вод, разреженность или отсутствие растительного покрова, сильные ветра</b> <i>Low annual precipitation, high temperatures during the day and low at night, the presence of mineralized groundwater, sparsity or absence of vegetation, strong winds</i>	<b>Засоление, осолонцевание почв</b> <b>Ветровая эрозия почв, пыльные бури, образование барханов</b> <b>Деградация и опустынивание земель</b> <b>Ухудшение социальных условий</b> <i>Salinization, alkalinization of soils</i> <i>Wind erosion of soils, dust storms, formation of crescentic dunes</i> <i>Degradation and desertification of lands</i> <i>Worsening of social conditions</i>

местного характера. Проекты включают в себя создание двух широких полос деревьев на африканском и азиатском континентах. Одна полоса деревьев простирается от одного края африканского континента к другому – через регионы Сахара и Сахель. Другая полоса на азиатском континенте простирается на тысячи километров параллельно Великой Китайской стене. Целью проекта «Великая Зеленая Стена» является не только борьба с расширением пустыни, но и улучшение жизни миллионов людей [4-6].

В 2007 г. Африканским союзом был запущен проект по борьбе с последствиями изменения климата и опустынивания. Проект предполагает создание полосы древесно-кустарниковой растительности шириной в 15 км и протяженностью около 8000 км, проходящей через всю Африку: от Сенегала на западе до Джибути на востоке.

По данным Африканского союза, в процессе реализации проекта уже достигнуты определенные результаты в борьбе с опустыниванием, особенно в таких странах, как Сенегал, Эфиопия, Нигерия, Нигер и Буркина-Фасо. Например, в Сенегале было высажено более 18 млн деревьев [7]. Выполнение данного проекта в настоящее время достигает приблизительно 15-18%, что соответствует облесению территории на площади около  $2,16 \times 10^6$  га. К 2030 г. планируется завершить работы по облесению зеленой стены в Африке на всей площади, которая составит около  $12 \times 10^6$  га.

Известно, что лес сравнивают легкими планеты. Действительно, в процессе фотосинтеза 1 га смешанного леса с хорошим древостоем за год поглощает 18,9 т углекислого газа и продуцирует 16,7 т кислорода [8]. Хороший древостой получается через 30... 50 лет после посадки семян, и к этому сроку сформировавшийся лесной массив будет способен поглотить  $226,8 \times 10^6$  т/год  $\text{CO}_2$  и продуцировать около  $200,4 \times 10^6$  т/год  $\text{O}_2$ .

По данным Аналитического центра при Правительстве России, объем ежегодных выбросов в атмосферу  $\text{CO}_2$  в мире составляет около  $33,9 \times 10^9$  т/год. Реализация проекта позволит в перспективе поглощать 0,67% мировых выбросов  $\text{CO}_2$  из атмосферного воздуха [8]. Несмотря на незначительное ежегодное поглощение выбросов  $\text{CO}_2$  из атмосферного воздуха и продуцирование  $\text{O}_2$ , в Нигере осуществление проекта помогло решить социальную проблему: прокормить дополнительно 2,5 млн чел. и создать более 330 000 рабочих мест. Целью проекта являлось также восстановление к 2030 г. площади  $100 \times 10^6$  га деградированных пахотных земель и создание рабочих мест на площади  $10 \times 10^6$  в сельских районах.

Северные районы Китая, прилегающие непосредственно к пустыням, по причине сильных пыльных бурь ежегодно теряют около  $13 \times 10^4$  га полезной территории. Последствия опустынивания испытывают свыше 400 млн чел. [9]. От пыльных бурь в Китае страдают, например, Южная Корея, Япония и другие страны.

Китай является одним из многих крупных производителей сельскохозяйственной продукции. Учитывая численность населения Китая, сельское хозяйство основывается на методах интенсивного использования почв, включающих в себя использование биохимических препаратов ускорителей роста и раннего созревания растений с целью получения нескольких урожаев в год. Однако применение биохимических препаратов в больших объемах ухудшает внутрипочвенные процессы, изменяет механические, химические и физические свойства почв, делает их «мертвыми». Как следствие, снижается устойчивость почвы к эрозионным процессам.

К 2050 г. проектом запланировано насаждение защитного пояса из деревьев, кустарников и трав длиной 4480 км и шириной около 100 км [9]. К этому времени деревья достигнут возраста, когда будут способны сдерживать скорость движение ветра и песка в приземной зоне, а корневая система укрепит структуру почвы и будет препятствовать ее эрозии. Запланированная площадь зеленого пояса составит  $350 \times 10^3$  км<sup>2</sup>, или  $35 \times 10^6$  га [9].

Поскольку среднегодовой уровень осадков в этих регионах составляет менее 200 мм, выбирают быстро растущие растения, устойчивые к засухе и песчаным бурям. Известно, что монокультурные посадки обладают повышенной уязвимостью к вредителям и заболеваниям, поэтому в состав посадок дополнительно вводят кустарники и деревья разных пород.

Озеленение можно осуществлять с использованием саженцев и семян. При использовании для посадки саженцев предварительно выполняют планировочные работы механизированным способом производства земляных работ, а затем на выровненную поверхность вручную высаживают растения.

При использовании семян для закрепления эродированных поверхностей предварительно осуществляют подготовку посевного материала и последующий посев семян. Однако легкие семена даже при малых ветрах разносятся по территории, и при отсутствии влаги их большая часть теряет всхожесть.

Помимо посадки лесов, проект «Великая Зеленая Стена» предполагает создание пахотных

земель и пастбищ с восстановленным травяным покровом.

Для реализации проекта в Китае был принят закон, обязывающий всех граждан в возрасте от 11 до 60 лет ежегодно высаживать от 3 до 5 новых деревьев. Если по каким-либо причинам посадка деревьев невозможна, то выполняются не менее важные работы по уходу за ранее высаженными деревьями. В противном случае выплачивается соответствующий налог. Кроме того, ежегодно 12 марта, в день праздника посадки деревьев, в Китае представители почти 1/3 населения выходят сажать деревья. За 30 лет существования праздника активистами было посажено 50 млрд деревьев. В особенно засушливых районах севера за посадку кустарников и деревьев фермерам выплачиваются субсидии [9].

Анализ спутниковых снимков исследуемого района показал, что песчаные бури в защищенных лесопосадками северных районах страны стали образовываться значительно реже. По подсчетам, уже высаженные леса задерживают около 200 млн т песка в год. Территории, на которых жители были вынуждены чуть ли не каждый день очищать дома от песка и пыли, сегодня являются пригодными для жизни, а пыльные бури стали значительно менее губительными.

Сокращение площади пустынь также улучшает качество атмосферного воздуха в городах Северного Китая. Например, через 30... 50 лет после посадки саженцев сформировавшийся лесной массив способен поглотить  $661,5 \times 10^6$  т/год  $\text{CO}_2$  и продуцировать около  $554,5 \times 10^6$  т/год  $\text{O}_2$ , что превышает эффективность поглощения  $\text{CO}_2$  и продуцирования  $\text{O}_2$  почти в 2,5 раза по сравнению с африканским проектом «Великая Зеленая Стена».

Проект «Великая Зеленая Стена» в Африке и Китае должен послужить примером того, как масштабные экологические проекты могут сочетать в себе борьбу с опустыниванием земель и улучшение социально-экономических условий, создание рабочих мест, повышение продовольственной безопасности и стимулирование экономического развития в регионах.

Увеличение интенсивности дефляции до масштабов пыльных бурь характерно для регионов Калмыкии, Астраханской области, Северного Кавказа, Поволжья, Северного Казахстана, Восточной Сибири. Ущерб, причиняемый окружающей среде ветровой эрозией почв, весьма многообразен. Часто по причине засыпания песком гибнут пастбища и защитные лесные полосы. При сильных пыльных бурях затрудняется

работа предприятий и транспорта, засыпаются каналы, нарушается устойчивость высоковольтных линий электропередачи, герметичность нефте- и газопроводов. С целью снижения негативного воздействия песков на окружающую среду выполняют мелиорацию песков, направленную на снижение их подвижности, повышение плодородия, обогащение органическим веществом и питательными элементами, вовлечение в хозяйственный оборот в виде пастбищных, полевых или лесных угодий [10-12].

Созданию защитных лесонасаждений должно предшествовать закрепление песков посевом многолетних трав или самозарастанием. Голые, лишённые травянистой растительности, пески Европейской части страны после прекращения на них выпаса скота и распашки в течение 5...7 лет покрываются естественной травянистой растительностью. Пески полупустынь, например, в Астраханской области, требуют для самозарастания 20...40 лет. Если по хозяйственным соображениям голые подвижные пески нельзя оставить под естественное самозарастание, то прибегают к искусственному закреплению [10-12].

Для закрепления песков используют такие растения, как типчаки, житняки, озимую и многолетнюю рожь, прутняк, донник, люцерну, суданскую траву, сорго и др. Но основным методом закрепления подвижных песков является лесоразведение. Сеянцы древесных и кустарниковых пород, посаженные на подвижных песках, в первые годы нуждаются в защите от выдувания, засекания и засыпания песком. Поэтому их высаживают на площадь, защищенную механическими средствами, или под защиту насаждений из шелюги.

Для закрепления голых песков применяют кустарники джужгун, черкез, песчаную акацию, тамарикс, а для облесения – саксаул белый и черный. Растение джужгун является декоративным, особенно такие его формы, как джужгун «Голова медузы» или джужгун безлистный. Во время цветения кусты его сплошь покрываются цветками, которые выделяют приятный аромат (рис. 2). Растение джужгун размножается семенами, черенками, сеянцами, хорошо размножается порослевыми отводками. Сеять джужгун можно семенами осенью или весной. При осеннем посеве предварительная обработка семян не требуется, а весной, перед посевом, необходима предварительная обработка. Посев семян джужгуна производят на глубину 3...4 см из расчета 360 кг семян на 1 га. Однако всхожесть семян является невысокой.



Рис. 2. Кустарник джужгун:

а – период цветения; б – период плодоношения; в – сформировавшийся куст джужгуна

Fig. 2. Dzhuzgun shrub:

a – flowering period; b – fruiting period; c – formed bush of juzgun

[https://yandex.ru/images/search?img\\_url](https://yandex.ru/images/search?img_url)

Посадку джужгуна осуществляют либо осенью (в октябре или ноябре), либо рано весной – с февраля до середины апреля. Также возможна его высадка в зимние окна, в оттепель. Посадку джужгуна безлистного производят в обязательном порядке поперек направления эрозионно опасных ветров саженцами с корневой системой на глубину до 0,4 м, черенками (крупномерный посадочный материал) на глубину не менее 0,70...0,80 м и более.

Посадка джужгуна производится ручным или механизированным способами. При ручном способе посадку размещают по схеме 5 м между рядами и 1,5 м в ряду. Ручную посадку джужгуна осуществляют под защитой камышовых рулонов. Камышовые рулоны защищают от выдувания и заноса песком семян сразу после посадки и в период начала вегетации, способствуя также накоплению и сохранению влаги.

При посадке джужгуна сеянцами механизированным способом выполняют рыхление почвы на глубину 0,35...0,40 м лентами шириной 1,4 м, а расстояние между осями лент составляет 5 м. Перед посадкой проводят подготовку сеянцев джужгуна к посадке обработкой нижних междоузлий в навозно-земляной жиже и их посадку. Для посадки сеянцев используют трактор и сеялку лесную – например, СЛ4-1.

Крупномерные черенки джужгуна высаживают сажалкой по осям лент на глубину 0,6...0,8 м. Черенки джужгуна, высаженные на глубину, обладают лучшей приживаемостью. Это происходит благодаря тому, что при неглубокой посадке саженца верхний слой почвы является менее влажным и влагу теряет быстрее, чем тот слой, в который посажен черенок на глубину (0,6...0,8 м). Этот слой на глубине находится в более влажном состоянии и если подсыхает, то за более продолжительное время, в течение которого на черенке успевает отрасти корневая

система, и само растение начинает потреблять влагу из более глубоких горизонтов.

Ручной и механизированный способы посадки джужгуна достаточно трудоемки. В условиях дефицита трудовых ресурсов посев производят разбросным методом семян, но в сложившихся условиях рассеиваемые семена по территории разносятся ветром, а проклюнувшиеся семена не успевают закрепиться на почве и быстро погибают.

Во ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова разрабатываются метод приготовления посевного материала в виде капсул и технология их посева. Полученные таким образом гранулы после их размещения по поверхности озеленяемого участка обладают достаточно высокой скоростью витания и даже при сильных ветрах остаются неподвижными. Наличие в гранулах в достаточном количестве начальной влаги и питательных веществ способствует хорошей всхожести семян, их прорастанию и закреплению на почве. Несмотря на то, что в субаридных зонах выпадает малое количество осадков, они все же бывают, и наличие глины способствует дополнительному накоплению влаги в капсулах, а наличие удобрений – повышению приживаемости и развитию самого растения.

### Выводы

Деградация земель является одной из самых острых экологических проблем современности, затрагивающей жизнь и благосостояние миллиардов людей по всему миру.

На сегодняшний день оставшиеся нетронутыми уголки природы играют ключевую роль в поддержании глобального экологического баланса: они служат средой обитания для многих видов животных и растений включая редкие и исчезающие виды, влияют на регулирование климата и водных ресурсов, а также являются

важными участками для научных исследований и экотуризма.

Кроме того, в быстро изменяющемся мире наблюдается не только возрастающий интерес к земельным ресурсам, но и повышение их спроса. При этом осознание их ограниченности подчеркивает важность для выживания человечества и привлекает внимание к проблеме их истощения. Это приводит к пониманию деградации земель как глобальной проблемы в общественном диалоге. Проблемы деградации земель

связаны как с прямыми, так и с косвенными факторами, включая вырубку лесов, лесные пожары, неконтролируемый выпас животных и расширение земель под сельскохозяйственные нужды. Решение этих проблем требует комплексного подхода, учитывающего как экологические, так и социально-экономические аспекты. Изменение климата усиливает необходимость совершенствования методов управления земельными ресурсами, способствуя их устойчивости и безопасности.

#### Список использованных источников

1. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства [Текст]: управление системами, находящимися под угрозой. – Рим: Продовольственная и с.-х. орг. Объединенных Наций; Москва: Весь мир, сор. 2012. [https://studylib.ru/doc/1671507/sostoyanie-mirovyh-zemel\\_nyh-i-vodnyh-resursov-dlya](https://studylib.ru/doc/1671507/sostoyanie-mirovyh-zemel_nyh-i-vodnyh-resursov-dlya)
2. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. ООН, Принята 9 мая 1992 года. [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/climate\\_framework\\_conv.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml)
3. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке (англ. The United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa, UNCCD). Париж, 1994 г. [https://nbp.by/upload/iblock/e98/p4zmt6ma3fkjhy09l3qngpn5sbmwtx2j/Konventsia\\_17.06.1994.pdf](https://nbp.by/upload/iblock/e98/p4zmt6ma3fkjhy09l3qngpn5sbmwtx2j/Konventsia_17.06.1994.pdf)
4. United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly In Africa. Article 1. – URL: [https://catalogue.unccd.int/936\\_UNCCD\\_Convention\\_ENG](https://catalogue.unccd.int/936_UNCCD_Convention_ENG).
5. Final report of the intergovernmental working group on effective policy implementation measures for addressing drought under the United Nations Convention to Combat Desertification. Conference of the Parties Fifteenth session Abidjan, Côte d' Ivoire, 9-20 May 2022. – URL: <https://www.unccd.int/sites/>
6. 2030 Agenda for Sustainable Development: implications for the United Nations Convention to Combat Desertification. The future strategic framework of the Convention. United Nations ICCD/COP(13)/L.18, 2017. <https://lapsha.media/wp-content/uploads/2023/04/21252030-agenda-for-sustainable-development-web.pdf>
7. Convention portant creation de l'agence panafricaine de la grande muraille verte. Niger, 2010. <https://www.unccd.int/news-stories/statements/conseil-des-ministres-lagence-pan-africaine-de-la-grande-muraille-verte>
8. Сметанин В.И., Плотникова Д.С. Динамика поглощения CO<sub>2</sub> из атмосферного воздуха в зависимости от деградации земель лесного фонда // Природообустройство. 2021. № 5. С. 141-148
9. Плановая экономика [https://vk.com/wall-172240630\\_2623](https://vk.com/wall-172240630_2623)
10. Вайчулис Г.В., Быстрова И.В., Смирнова Т.С. Опустынивание земель южных регионов России. Возможные пути решения проблемы // Научные высказывания. 2021. № 2 (2). С. 29-31.

#### References

1. The state of the world's land and water resources for food production and agriculture [Text]: management of threatened systems. – Rome: Food and Agricultural Organization. United Nations; Moscow: The Whole World, сор. 2012. [https://studylib.ru/doc/1671507/sostoyanie-mirovyh-zemel\\_nyh-i-vodnyh-resursov-dlya](https://studylib.ru/doc/1671507/sostoyanie-mirovyh-zemel_nyh-i-vodnyh-resursov-dlya)
2. The United Nations Framework Convention on Climate Change. UN, Adopted on May 9, 1992. [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/climate\\_framework\\_conv.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml)
3. The United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Especially in Africa (eng. The United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa, UNCCD). Paris, 1994. [https://nbp.by/upload/iblock/e98/p4zmt6ma3fkjhy09l3qngpn5sbmwtx2j/Konventsia\\_17.06.1994.pdf](https://nbp.by/upload/iblock/e98/p4zmt6ma3fkjhy09l3qngpn5sbmwtx2j/Konventsia_17.06.1994.pdf)
4. United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly In Africa. Article 1. – URL: [https://catalogue.unccd.int/936\\_UNCCD\\_Convention\\_ENG](https://catalogue.unccd.int/936_UNCCD_Convention_ENG).
5. Final report of the intergovernmental working group on effective policy implementation measures for addressing drought under the United Nations Convention to Combat Desertification. Conference of the Parties Fifteenth session Abidjan, Côte d' Ivoire, 9-20 May 2022. – URL: <https://www.unccd.int/sites/>
6. 2030 Agenda for Sustainable Development: implications for the United Nations Convention to Combat Desertification. The future strategic framework of the Convention. United Nations ICCD/COP(13)/L.18, 2017. <https://lapsha.media/wp-content/uploads/2023/04/21252030-agenda-for-sustainable-development-web.pdf>
7. Convention portant creation de l'agence panafricaine de la grande muraille verte. Niger, 2010. <https://www.unccd.int/news-stories/statements/conseil-des-ministres-lagence-pan-africaine-de-la-grande-muraille-verte>
8. Smetanin V.I., Plotnikova D.S. Dynamics of CO<sub>2</sub> absorption from atmospheric air depending on land degradation of the forest fund // Environmental Engineering 2021. No. 5. P. 141-148
9. Planned economy [https://vk.com/wall-172240630\\_2623](https://vk.com/wall-172240630_2623)
10. Vaichulis G.V., Bystrova I.V., Smirnova T.S. Desertification of the lands of the southern regions of Russia. Possible ways to solve the problem // Scientific statements. 2021. No. 2 (2). pp. 29-31. URL: <https://nvjournal.ru/article/39-opustinivanie-zemel-yuzhnikh-regionov>

URL: <https://nvjournal.ru/article/39-opustinivanie-zemel-yuzhnikh-regionov>

11. Государственный (Национальный) Доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 году. Росреестр, Москва 2023. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407991257/>

12. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с. <https://www.mcxac.ru/upload/iblock/859/85939bcfcc1153e193246538bf900ea0.pdf>

13. **Сметанин В.И.** Рекультивация и обустройство нарушенных земель // М.: «КолосС», 2003, 96 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студ. выс. учеб. заведений)

#### Об авторах

**Владимир Иванович Сметанин**, д-р техн. наук, профессор; [smetanin2000@yandex.ru](mailto:smetanin2000@yandex.ru)

**Хунас Каси**, канд. техн. наук; [hkaci@yandex.ru](mailto:hkaci@yandex.ru)

#### About the authors

**Vladimir I. Smetanin**, DSc (Eng), professor; [smetanin2000@yandex.ru](mailto:smetanin2000@yandex.ru)

**Hunas Kaci**, CSc (Eng), [hkaci@yandex.ru](mailto:hkaci@yandex.ru)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Сметанин В.И., Хунас Каси выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 15.05.2024

11. State (National) Report on the state and use of land in the Russian Federation in 2022. Rosreestr, Moscow 2023. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407991257/>

12. Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020. Moscow: FSBI Rosinformagrotech, 2022. 384 p. <https://www.mcxac.ru/upload/iblock/859/85939bcfcc1153e193246538bf900ea0.pdf>

13. **Smetanin V.I.** Recultivation and arrangement of disturbed lands // KolosS Publishing House, Moscow: 2003, 96 p.: ill. – (Textbooks and manuals for students of higher education establishments)

Smetanin V.I., Hunas Kaci carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

## Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-53-62>

УДК 627.8:69.05



### БИОИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ И ОБУСТРОЙСТВА ПРИБРЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ МАЛЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ АПК

Н.В. Ханов<sup>1</sup>, С.О. Курбанов<sup>2✉</sup>, О.Н. Черных<sup>1</sup>, Ф.Т. Дударова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

<sup>2</sup> Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова; 360030, КБР, г. Нальчик, пр-т Ленина, 1В, Россия

**Аннотация.** Приведено обоснование эффективности применения биоинженерных технологий при защите и обустройстве малых водных объектов и мелиорации прибрежных земель АПК. Используются натурные и теоретические методы исследований известных и авторских технологий возведения берегозащитных сооружений с применением биопозитивных элементов из местных и экологически безопасных искусственных материалов. Представлены разработки инновационных конструкций берегоукрепления и защиты проблемных территорий АПК, в том числе эрозирующих береговых участков малых прудов, рек и каналов небольших оросительных систем. Предложена и апробирована концепция природоприближенного обустройства прибрежных территорий водного объекта, включающая в себя сам водный объект, его пойменные участки и прилегающую площадь водосбора. Проведенные в последние годы исследования различных участков малых рек показали, что применение биопозитивных и гибких конструкций защитно-регуляционных сооружений и их элементов не только обеспечивает надежную инженерную защиту прибрежных зон, но и создают благоприятные условия для восстановления зеленых водоохранных зон. С течением времени построенные сооружения, зарастая травой и кустарниками, сливаются с природной средой, превращаясь в биоинженерные сооружения.

**Ключевые слова:** биоинженерные технологии, малые водные объекты, биопозитивные конструкции, противоэрозионные крепления, гибкие тьюфаки

**Формат цитирования:** Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н., Дударова Ф.Т. Биоинженерные технологии защиты и обустройства прибрежных земель малых водных объектов АПК // Природообустройство. 2024. № 3. С. 53-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-53-62>

**Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.**

Original article

### BIOENGINEERING TECHNOLOGIES FOR THE PROTECTION AND DEVELOPMENT OF COASTAL LANDS OF SMALL WATER BODIES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

N.V. Khanov<sup>1</sup>, S.O. Kurbanov<sup>2✉</sup>, O.N. Chernikh<sup>1</sup>, F.T. Dudarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, Russia

<sup>2</sup> Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 360030 Nalchik, Lenina avenue, 1B, Russia

**Abstract.** The rationale for the effectiveness of the use of bioengineering technologies in the protection and development of small water bodies and the reclamation of coastal lands of the agro-industrial complex is given. For this purpose, full-scale and theoretical research methods were used for known and proprietary technologies for the construction of bank protection structures using biopositive elements from local and environmentally friendly artificial materials. The development of innovative designs for bank protection and protection of problem areas of the agro-industrial complex, including eroding coastal areas of small ponds, rivers and canals of small irrigation systems, is presented. A concept

of environmentally friendly development of the coastal territories of a water body, including the water body itself, its floodplain areas and the adjacent catchment area, has been proposed and tested. Studies of various sections of small rivers conducted in recent years have shown that the use of biopositive and flexible designs of protective and regulatory structures and their elements provide not only reliable engineering protection of coastal zones, but also create favorable conditions for the restoration of green water protection zones. Over time, the constructed structures, overgrown with grass and shrubs, merge with the natural environment, turning into bioengineered structures.

**Keywords:** bioengineering technologies, small water bodies, biopositive structures, anti-erosion fastenings, flexible mattresses

**Format of citation:** Khanov N.V., Kurbanov S.O., Chernykh O.N., Dudarova F.T. Bioengineering technologies for the protection and development of coastal lands of small water bodies of the agro-industrial complex // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 3. P. 53-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-53-62>

*The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.*

**Введение.** К малым водным объектам относятся естественные либо искусственные водные объекты, имеющие относительно небольшие размеры: водоемы с площадью водного зеркала до 1 тыс. га, водотоки длиной до 100 км. Все они играют важную роль при сельскохозяйственном освоении прибрежных земель АПК. Использование водных ресурсов малых водных объектов, как правило, должно осуществляться без нарушения режимов их работы [1, 2]. Обследование гидротехнических сооружений (ГТС), выполненное на мелиоративных гидроузлах и водных объектах АПК за последние 25 лет сотрудниками РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева на равнинной части РФ и КБГАУ им. В.М. Кокова в горной и предгорной частях России, показали, что ввиду интенсивного антропогенного воздействия на картографической сети этих районов самыми загрязненными, истощенными и деформированными оказались зоны малых рек, входящие в состав населенных пунктов, представляющих нижние бьефы низконапорных мелиоративных гидроузлов и водопроводящих сооружений на автодорогах, берега малых водоемов и каналов мелиоративных систем [3, 4].

Наиболее остро проявились за последние 30 лет и являются актуальными как для многих стран мира, так и для нашей страны, особенно Юга России и, в частности, в Кабардино-Балкарии, проблемы инженерного антиэрозионного обустройства малых рек и примыкающих к ним территорий [5, 7, 8]. Вся территория этих регионов изрезана руслами малых рек, причем большая часть инфраструктуры регионов сосредоточена в прибрежных зонах. Для водных объектов речных бассейнов здесь требуются более эффективные методы фитомелиорации либо лесомелиорации водных угодий, и именно на основе применения биоинженерных технологий [6, 7]. При этом

расположенные в прибрежных зонах малых рек сельскохозяйственные земли нуждаются не только в мелиорации, но и в защите от затопления паводковыми водами, а также от возникающих на них эрозионных процессов [3, 9].

Таким образом, назрела серьезная необходимость в использовании совершенно новых приемов обустройства малых водных объектов и мелиорации земель с помощью специальных ГТС, которые обеспечивали бы сохранение и восстановление их экосистемы вместе с защитой водоохраняемых зон.

**Цель исследований:** обоснование эффективности применения биоинженерных технологий при защите и обустройстве малых водных объектов и мелиорации прибрежных земель АПК с использованием натуральных и теоретических методов исследований известных и авторских технологий возведения берегозащитных сооружений с применением биопозитивных элементов из местных и экологически безопасных искусственных материалов.

**Материалы и методы исследований.** На практике при освоении и использовании малых водных объектов для защиты, обустройства и мелиорации прибрежных земель часто не учитывают экологическое состояние и гидрологические режимы работ отдельных участков рек, а также особенности работы их берегоукрепительных, выправительных сооружений, оценки безопасности локальных ГТС. Нет надежных, экспериментально обоснованных научных методов строительства и проектирования защитных сооружений, вместе обеспечивающих надежность работы таких защитно-регуляционных гидросооружений и их экологическую эффективность для зоны ревитализации с использованием местных природных или природоподобных материалов, предназначенных для восстановления земель,

подверженных эрозии разной типологии. В рекреационных и урбанизированных зонах АПК требуются более эффективные способы защиты и восстановления прибрежных земель от размыва и разрушения паводковыми водами малых рек (рис. 1) [9, 10].

В качестве методов исследований были использованы аналитические и натурные методы по оценке состояния существующих ГТС мелиоративных систем разного назначения в полевых условиях. В настоящее время активные комплексные совместные исследования по оценке состояния малых рек и водоемов интенсивно проводятся в границах Юга России, в Кабардино-Балкарии. В задачи исследований входили: оценка антропогенного вмешательства в природный ландшафт прибрежных зон малых рек и прудов; выявление негативных последствий, параметров и стадии протекания русловых процессов на локальных участках водных объектов; исследование причин, препятствующих естественному развитию русловых процессов включая пойменные участки; фиксирование технического состояния и оценка уровня риска, дисбаланса и величины возможного ущерба при экологической либо

гидрологической аварии, нанесенного природной системе водного объекта; разработка предложений по техническим методам реконструкции и обустройства отдельных, сильно эрозирующих участков урбанизированных территорий АПК, с использованием при ревитализации в основном биологических технологий, природоприближенных способов производства работ, при стремлении к применению комбинированных (миксированных) конструктивных решений противоэрозионных сооружений предпочтительно из природных материалов. Одновременно осуществлялся анализ текущего технического состояния локальных ГТС и отдельных элементов оросительных систем поверхностного полива; создавалась база данных по комплексным исходным параметрам водных объектов этих мелиоративных систем (ландшафтным, биологическим, гидрологическим, санитарным и пр.); разрабатывалась концепция природоприближенной реконструкции обслуживающих водные объекты природоохранных и гидротехнических сооружений, используемых при ренатурировании водных систем, а также и инновационных биопозитивных конструкций, направленных в целом на охрану природы [7-10].



а



б



в



г

Рис. 1. Современное состояние урбанизированных участков р. Нальчик в районах г.о. Нальчик, 2020 г. (фото авторов):

- а – разрушенный участок берегоукрепительных сооружений в районе парка Долинск;  
 б – в районе Вольного аула; в – разрушенный перепад в районе Курортных озер;  
 г – разрушенная дамба в районе Александровки

Fig. 1. The current state of the urbanized sections of the Nalchik River in the districts of the city of Nalchik, 2020 (photo by the authors):

- а – destroyed section of bank protection structures in the area of Dolinsk Park;  
 б – in the area of the Volny aul.; в – destroyed drop in the area of the Resort Lakes;  
 г – destroyed dam in the area of Aleksandrovka

Полевые наблюдения в рамках мониторинга безопасности ГТС Кабардино-Балкарии были направлены на ряд малых рек, наиболее урбанизированных в Республике: Баксан, Нальчик, Чегем, Черек, Шалушка. На соответствующих участках этих рек в предусмотренном объеме проводились наблюдения за деформациями откосов, берм и верховых пригребневых участков склонов водотоков; оценивалось состояние креплений откосов и неукрепленных участков рек; фиксировались параметры и развитие эрозионных зон и трещин в укреплениях, размывов откосов и берегов; анализировались причины осадок, просадок, оползней, трещин, подвижек грунтовых масс, причин разрушения существующих жестких, укрепляющих берег конструкций; изучалось состояние примыканий к берегозащитным сооружениям (рис. 2). Помимо этого, была выполнена серия наблюдений на малых водозащитных объектах оросительных систем с поверхностным поливом, работающих в предгорье Кабардино-Балкарии [6-8]. В результате были предложены и запатентованы несколько десятков вариантов инновационных решений защитно-регуляционных ГТС биопозитивной конструкции, которые легко технологически и функционально вписывались в ландшафт и органично входили в состав биоинженерных систем природообустройства вдоль береговой зоны малых рек АПК. Некоторые из них, полученные за последние годы, описаны ниже и приведены в специализированных источниках информации [11-16].

Результаты и их обсуждение. На основании анализа работы построенных и эксплуатируемых в течение последних 5 лет берегозащитных

укреплений были предложены конструкции, совмещающие как функциональные, так и новейшие технологические решения защитно-выправительных сооружений, базирующихся на использовании методов инженерной биологии, биотехнологии и опирающихся на применение природных строительных материалов.

Для защиты предварительно обследованных территорий, подверженных экзогенным процессам, предложен ряд защитно-регуляционных гидротехнических конструктивных элементов. Компонуя такие биопозитивные конструкции и объединяя их в целые биоинженерные системы, можно относительно быстро обеспечить восстановление нарушенных проблемных земель (рис. 3, 4). Эти новые запатентованные сооружения одновременно выполняют и инженерные, и биологические функции и практически сразу «роднятся» с природой.

Основу концепции, предложенной кандидатом технических наук С.О. Курбановым по результатам проведенных исследований, представляют биопозитивные системы из тюфячных элементов плоской или цилиндрической формы (рис. 3а) [6, 8, 11]. Биоинженерные конструкции разработаны применительно к локальным участкам равнинных рек, а также малых прудов, устраиваются в местах, где при обострении гидрологической ситуации возможно опасное воздействие паводковых вод, и как следствие – размывы и обрушения откосов водного объекта. В состав габионного тюфяка, укладываемого в русле равнинных участков водотоков ( $i = 0,0002...0,001$ ), обычно входит оболочка из металлической сетки, геотекстиль и георешетка, ячейки которой можно



а



б

Рис. 2. Состояние береговых откосов р. Терек в границах участка натуральных испытаний биопозитивных конструкций берегозащиты, разработанных применительно к району равнинной зоны Республики Дагестан (фото авторов):

а – после первых паводков при строительстве 2005 г.; б – после 10 лет эксплуатации, 2015 г.

Fig. 2. The state of the Terek River shore slopes within the boundaries of the site of full-scale tests of biopositive bank protection structures developed in relation to the area of the plain zone of the Republic of Dagestan (photo by the authors):

а – after the first floods during construction in 2005; б – after 10 years of operation, 2015

	<p><b>а – габионный тюфяк, пат. № 2685192:</b> 1 – подготовка; 2 – металлическая сетка; 3 – геотекстиль; 4 – георешётка; 5 – ячейки, заполненные местным грунтом; 6 – щебень либо гравий; 7 – геосетка</p> <p><b>a – gabion mattress, pat. No2685192:</b> 1 – preparation; 2 – metal mesh; 3 – geotextile; 4 – geogrid; 5 – cells filled with local soil; 6 – crushed stone or gravel; 7 – geogrid</p>
	<p><b>б – тяжёлая фашина, пат. № 183818:</b> 1 – мешки с грунтом, листьями вперемежку с сухой травой, выполненные из геосетки; 2 – геоматы; 3 – оцинкованная проволока; 4 – ручки-петли для укладки и связки фашинов между собой</p> <p><b>b – heavy fascine, stalemate. No183818:</b> 1 – bags with soil, leaves interspersed with dry grass, made of geogrid; 2 – geomats; 3 – galvanized wire; 4 – loop handles for laying and tying fascines together</p>
	<p><b>в – противоэрозионное крепление, пат. № 2758239:</b> 1 – цилиндрические тюфяки; 2 – лёгкие фашины на основе камыша; 3 – перфорированные трубы; 4 – чехол из геосетки; 5 – сетка из металла или стеклокомпозита; 6 – колья из металла либо стеклопластика, прижимающие сетку к земляному основанию</p> <p><b>c – anti-erosion fastening, pat. No2758239:</b> 1 – cylindrical mattresses; 2 – light fascines based on reeds; 3 – perforated pipes; 4 – geogrid cover; 5 – mesh made of metal or glass composite; 6 – stakes made of metal or fiberglass, pressing the mesh to the earth base</p>
	<p><b>г – противоэрозионное крепление из гибких тюфяков, пат. № 2800940:</b> 1 – цилиндрический тюфяк; 2 – биомат; 3 – перфорированные трубы в геосетке; 4; 5 – ряды двух – трёхслойных геоматов; 6 – полимерная сетка, покрывающая плоскость укрепления; 7 – колья или кольшечки</p> <p><b>d – anti-erosion fastening made of flexible mattresses, pat. No2800940:</b> 1-cylindrical mattress; 2 – biomat; 3 – perforated pipes in geogrid; 4; 5 – rows of two- to three-layer geomats; 6 – polymer mesh covering the reinforcement plane; 7 – stakes or pegs</p>
	<p><b>д – подпорная стенка арматурной конструкции, пат. № 2801714:</b> 1 – многоступенчато уложенные габионные тюфяки; 2 – дренажные перфорированные трубы; 3 – геомат; 4 – габионная сетка; 5 – гибкие армирующие плиты; 6 – стеклопластиковая сетка; 7 – объёмные георешётки; 8 – первый ряд габионных тюфяков; 9 – фартук из георешеток, нагруженный гравием и галькой</p> <p><b>e – retaining wall of the armasoil structure, pat. No 2801714:</b> 1 – multi-stage gabion mattresses; 2 – drainage perforated pipes; 3 – geomat; 4 – gabion mesh; 5 – flexible reinforcing plates; 6 – fiberglass mesh; 7 – volumetric geogrids; 8 – first row of gabion mattresses; 9 – apron made of geogrids, loaded with gravel and pebbles</p>
	<p><b>ж – подпорная стенка комбинированной конструкции, пат. № 2801750:</b> 1 и 2 – ступени подпорной стенки; 3 – тяжёлые фашины из мешков, заполненных местным растительным грунтом; 4 – габионные тюфяки из слоёв биомата и перфорированных труб; 5 – гибкие габионные тюфяки; 6 – геомат; 7 – фартук из гибких плит с объёмными георешётками; 8; 9 – биомат; 10 – дренажные перфорированные трубы</p> <p><b>f – retaining wall of a combined structure, pat. No 2801750:</b> 1 and 2 – retaining wall steps; 3 – heavy fascines from bags filled with local vegetable soil; 4 – gabion mattresses made of biomat layers and perforated pipes; 5 – flexible gabion mattresses; 6 – geomate; 7 – apron made of flexible slabs with volumetric geogrids; 8; 9 – biomat; 10 – drainage perforated pipes</p>

Рис. 3. Инновационные гибкие и биопозитивные конструкции, разработанные ООО ИЦ «ЭКОБЕРЕГ» для укрепления и обустройства водных объектов АПК [11-16]

Fig. 3. Innovative flexible and biopositive structures developed by ECOBEREG ITS LLC for strengthening and development of water bodies in the agro-industrial complex [11-16]

заполнить местным грунтом и пригрузить мелким камнем. Опыт эксплуатации показал, что деформации подстилающих грунтов по причине гибкости и водопроницаемости конструкции при волновом воздействии потока под таким креплением практически отсутствуют [5-7].

Главным элементом многих конструкций является и тяжелая гибкая фашина (рис. 3б) [12], оболочка из геосетки которой после заполнения сухими растительными остатками и геоматом схватывается оцинкованной проволокой. При формировании защитного полотна на склоне водного объекта тяжелую фашину собирают из разных элементов, которые выполняют одну общую задачу – создание строительного облегченного изделия для укрепления и защиты от водной эрозии проблемного участка откоса территории АПК. При этом объемный тюфяк любого видоразмера и его составляющие изготавливаются вручную непосредственно на месте установки конструкции.

Надежно работает миксированная биопозитивная конструкция, состоящая из цилиндрических тюфяков, объединяющих легкие фашины и перфорированные трубы с геосеткой (рис. 3в) [13]. Обладаящее высокой степенью гибкости, такое водопроницаемое антиэрозионное укрепление можно использовать и как эффективное дренажное устройство. Основные гидродинамические нагрузки поверхностного потока равномерно рассредоточиваются при такой конструктивной схеме по всей защищаемой склоновой поверхности участка ренатурирования, что не только обеспечивает русловым элементом водного объекта защиту от эрозии и размывов ветром и водой при атмосферных катаклизмах, но и способствует восстановлению нарушенного почвенного покрова. Использование сочетания гибких тюфяков, прикрепленных к поверхности земли кольями из металла или стеклопластика и легких фашин, обладает хорошим эффектом в труднодоступных горных и предгорных рекреационных и охраняемых зонах эродированных участков АПК.

После усовершенствования антиэрозионное укрепление (рис. 3г) получило способность обеспечения долгосрочной экологичной и стабильной работы не только самого водотока или водоема, но и его пойменного участка или зоны прилегающей к нему площади водосборного бассейна АПК. Все элементы, входящие и ранее в состав таких биопозитивных конструкций [14], постепенно включаясь в работу, вносят свой вклад в защиту проблемного участка от эрозии. Так, в период ливней нерасчетной обеспеченности

высокоскоростной поверхностный поток, идущий с водосбора, воздействуя на верхние слои усовершенствованной конструкции из гибких тюфяков, одновременно частично заиливает ее верхнюю часть и снимает значительную долю гидродинамической нагрузки [14]. Оставшаяся часть потока уже не способна активно участвовать в контактном размыве, а часто, наоборот, частично восстанавливает деформированные участки склона, заиливая их, что в итоге приводит к восстановлению нарушенного одернованного участка берега.

Сегодня при ремонте набережных и подпорных стенок все чаще стали использовать при реконструкции трансграничных участков береговых зон водотоков и водоемов армогрунтовые элементы (рис. 3д) [15]. В них выполненная из габионных тюфяков с армирующими гибкими же плитами многоступенчатая конструкция сочетает в себе перфорированные трубы с геоматами и сеткой. При этом в основании склона к первому ряду тюфяков крепится гибкая плита в виде фартука, устроенного вдоль русла реки и пригруженного сверху гравием и галькой. Главную часть гидродинамических нагрузок от грунтового массива и фильтрационного потока воды воспринимают габионные тюфяки с армирующими элементами, ступенчато врезанные в откос. В подпорном сооружении, по причине гибкости его конструктивных элементов (тюфяков и плит), связывающих грунт слоями, происходит их совместная работа с грунтовым массивом в виде армогрунтовой конструкции. Она же обеспечивает устойчивость обрушаемого откоса, перехват и отвод фильтрационного потока, что довольно надежно удерживает обрушающийся массив от возможного сползания. За счет использования объемных георешеток удерживающие силы увеличиваются более чем в 2 раза по сравнению со сдвигающими силами. Использование геомата, представляющего собой экологически безопасный искусственный материал, дает возможность повысить гибкость, долго сохранять влагу в объеме природоохранного или природоподобного сооружения и долго обеспечивать водопроницаемость конструкции в целом. Вкупе с «живыми» материалами такие конструкции способствуют регенерации и саморегулированию своей популяции, оптимизируют условия генерирования роста новых корней и почек кустарников и густоту травянистой растительности на склонах водного объекта.

Фиксированная конструкция подпорной стенки прибрежного крепления водного объекта, состоящая из стенок с двумя ступенями, формируемыми тюфяками и тяжелыми фашинами (рис. 3ж), работает не только как подпорное

сооружение, но и как эффективный дренаж [16]. По сравнению с армогрунтовой подпорной стенкой здесь весьма широко используется биомат, который является слоями габионных тюфяков и обволакивает дренажные перфорированные трубы. При остальных аналогичных достоинствах эта конструкция обеспечивает более полный перехват и безопасный отвод грунтового фильтрационного потока дренажными устройствами тюфяков, создает качественные фитомелиоративные условия на береговом склоне и эффективно работает как подпорная стенка при защите русел малых рек на труднодоступных участках предгорья.

Авторами разработаны и модели биоинженерных систем для регулирования и защиты урбанизированных участков малых рек. На рисунке 4 приведены некоторые схемы моделей, разработанных для участка р. Нальчик по защите г. Нальчика.

В последние десятилетия на опытных участках малых рек Нальчик, Шалущка и Чегем были построены берегоукрепительные и выправительные сооружения авторской разработки [10-16]. Результаты мониторинговых

наблюдений показали высокую способность разработанных биопозитивных конструкций формировать надежное антиэрозионное укрепление, оказывающее эффективное сопротивление размывающему действию воды, появлению очагов эрозии грунтов, слагающих берег. Во время полевых испытаний установлено, что многие элементы такого биокомпозитного укрепления успешно воспринимают растягивающие напряжения, передают и перераспределяют силовое воздействие, в том числе на грунтовое основание берегового склона. С течением непродолжительного времени составными конструктивными элементами из частей древесной растительности они создают свою корневую систему, зарастают кустарниками и травой, образуя целые растительные сообщества. Озеленяя и участвуя в культурно-ландшафтном обустройстве территории, береговые зоны с таким укреплением не только получают эрозионную устойчивость, но и приобретают естественный вид нетронутого растительного покрова и стабилизированной природной среды (рис. 2, 5). Расчетами и актами подтверждено, что в некоторых случаях материальные затраты



а



б

Рис. 4. Модели биоинженерных систем для регулирования участка р. Нальчик при ревитализации и создании защиты г. Нальчика от затопления:

а – зарегулированный участок; б – схема возведения биоинженерного сооружения

Fig. 4. Models of bioengineering systems for regulating the section of the Nalchik River during revitalization and creation of protection of the city of Nalchik from flooding:

a – regulated section; b – scheme of the construction of a bioengineering structure



Рис. 5. Участок берегоукрепительного сооружения на р. Шалущка, построенный с возведением подпорных стен из габионов по патенту № 2336389 (фото авторов)

Fig. 5. A section of the bank protection structure on the Shalushka River, built with the construction of retaining walls made of gabions under patent No 2336389 (photo by the authors)

при использовании противоэрозионного запатентованного берегоукрепительного сооружения снижаются не менее чем в два раза на единицу длины склона по сравнению с использованием на этом участке железобетонного покрытия разного типа [9]. Выявлены такие важные показатели эффективности применения биоинженерных технологий при строительстве защитно-регуляционных сооружений, как гибкость и прочность их конструкции, экологичность и экономичность, водопроницаемость, технологичность и быстрота возведения.

### Выводы

Результаты исследований и натуральных наблюдений подтверждают эффективность применения биоинженерных технологий при защите и обустройстве малых водных объектов и прибрежных земель АПК, расположенных как на предгорных, так и на равнинных участках. Ориентировочный подсчет дает уменьшение не менее чем в два раза материальных затрат

на единицу длины укрепленного склона водотока по сравнению с устройством как жесткого, так и гибкого противоэрозионного крепления из традиционных и искусственных материалов.

В дальнейшем, по итогам реализации полной программы проекта внедрения биоинженерных технологий в практику водохозяйственного строительства, планируется разработка полноценного алгоритма проектирования природоприближенной реконструкции ранее уже зарегулированных и застроенных водных объектов. Условием при этом должно оставаться стремление сохранить естественные биотопы и восстановить при ренатурировании характерные очертания береговой линии, растительные и животные сообщества; обеспечить создание либо соблюдение адекватных естественному русловым формам движения рифелей, планово-высотные макроструктурные образования на ревитализированных водотоках; восстановить прибрежную территорию в границах участков водосбора, ранее бывших эродированными.

### Список использованных источников

1. Краснощеков В.Н., Ольгаренко Д.Г. Модернизация мелиоративных систем как главный фактор обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны // Природообустройство. 2016. № 4. С. 51-57.
2. Кривицкий С.В. Методы биоинженерной геоэкологии при проведении экологической реабилитации природных объектов // Вестник МГСУ. 2009. № 4. С. 285-290.
3. Черных О.Н., Ханов Н.В. Водные объекты в АПК и их эксплуатация // Картофель и овощи: Научно-практический журнал. 2019. № 11. С. 6-10.
4. Гурьев А.П. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / Ханов Н.В., Еремеев А.В. и др. Монография. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. 253 с. ISBN: 978-5-9675-1791-4
5. Курбанов С.О., Ханов Н.В., Черных О.Н. Проблемы и пути решения вопросов инженерной защиты и восстановления прибрежных нарушенных земель городских территорий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 38-46.
6. Курбанов С.О., Созаев А.А. Обоснование концепции создания биоинженерных систем защиты и восстановления земель прибрежных и рекреационных зон // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 8. С. 34-39.
7. Курбанов С.О., Созаев А.А. Проблемы инженерной защиты и природоохранного обустройства прибрежных урбанизированных зон малых рек на Юге России // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/55.pdf> (дата обращения: 08.09.2021).
8. Kurbanov S., Sozaev A., Shogenov A., Karshiev A. Bioengineering systems for the protection and improvement of urbanized areas of coastal and recreational areas // In the collection: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021).

### References

1. Krasnoshchekov V.N., Olgarenko D.G. Modernization of reclamation systems as the main factor in ensuring the country's food and environmental security // Prirodoobustrojstvo. 2016. No. 4. pp. 51-57.
2. Krivitsky S.V. Methods of bioengineering geocology when carrying out environmental rehabilitation of natural objects. / Bulletin of MGSU. No. 4. 2009. pp. 285-290.
3. Chernykh O.N., Khanov N.V. Water bodies in the agro-industrial complex and their exploitation // Potatoes and vegetables: scientific and practical. magazine 2019. No. 11. pp. 6-10.
4. Guryev A.P. The use of composite geomats to combat water erosion / Guryev A.P., Khanov N.V., Eremeev A.V., Kozlov K.D., Fartukov V.A., Shchukin S.N. / Monograph. M.: RGAU-MSHA, 2020. 253 p. ISBN: 978-5-9675-1791-4
5. Kurbanov S.O., Khanov N.V., Chernykh O.N. Problems and ways to solve issues of engineering protection and restoration of coastal disturbed lands in urban areas // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 1. pp. 38-46.
6. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Justification of the concept of creating bioengineering systems for the protection and restoration of lands in coastal and recreational zones // Ecology and Industry of Russia. 2020. T. 24. No. 8. P. 34-39.
7. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Problems of engineering protection and environmental development of coastal urbanized zones of small rivers in the South of Russia // Polythematic network electronic scientific journal of KubSAU. Available at the link: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/55.pdf> [Access date: 09/08/2021].
8. Kurbanov S., Sozaev A., Shogenov A., Karshiev A. Bioengineering systems for the protection and improvement of urbanized areas of coastal and recreational areas / In the collection: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. pp. 30-35.

E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. Pp. 30-35.

9. **Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В.** Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. 185 с.

10. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Balkizov A.B.** Effective technical solutions for channel regulation small rivers and construction of reclamation water intakes // Science Education Practice proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto). 2020. September 30. Infinity Publishing. Pp. 117-130.

11. Габионный тюфяк гибкой конструкции: **Патент № 2685192.** Российская Федерация. МПК E02B 3/12 / Курбанов С.О., Жемгуразов С.М., Хасанов М.М. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2018123261/13. Заяв. 26.06.2018; опубл. 16.04.2019. Бюл. № 11. 6 с.: ил.

12. Тяжелая фашина гибкой конструкции: **Патент № 183818.** Российская Федерация. МПК E02B 3/12 / Курбанов С.О., Созаев А.А., Кушаева Е.А. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2018122327/13. Заяв. 18.06.2018; опубл. 04.10.2018. Бюл. № 28. 6 с.: ил.

13. Противоэрозионное крепление биопозитивной конструкции: **Патент № 2758239.** Российская Федерация. МПК E02B 3/00 / Курбанов С.О., Настаева Ж.Х., Шалов И.Т. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2020131904. Заяв. 25.09.2020; опубл. 26.10.2021. Бюл. № 30. 6 с.: ил.

14. Способ возведения противоэрозионного крепления из гибких тюфяков: **Патент № 2800940.** Российская Федерация. МПК E02B 3/00 / Курбанов С.О., Курбанов К.С., Настаева Ж.Х. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 202131540. Заяв. 01.12.2022; опубл. 01.08.2023. Бюл. № 22. 6 с.: ил.

15. Подпорная стенка армогрунтовой конструкции для защиты прибрежных зон от обрушения и размыва: **Патент № 2801714.** Российская Федерация. МПК E02B 3/06 / Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева. № 2022128586. Заяв. 03.11.2022; опубл. 15.08.2023. Бюл. № 23. 6 с.: ил.

16. Способ возведения подпорной стенки комбинированной конструкции для защиты прибрежных зон от размыва: **Патент № 2801750.** Российская Федерация. МПК E02B 3/06 / Ханов Н.В., Курбанов С.О., Зборовская М.И. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева. № 2022128587. Заяв. 03.11.2022; опубл. 15.08.2023. Бюл. № 23. 6 с.: ил.

9. **Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Bank protection structures of water bodies. part 2. M.: RGAU–MSHA, 2020. – 185 p.

10. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Balkizov A.V.** Effective technical solutions for channel regulation of small rivers and construction of reclamation water intakes / Science Education Practice proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto), September 30, 2020. – Infinity Publishing. P. 117-130.

11. **Pat. 2685192** Russian Federation IPC E02B3/12. Gabion mattress of flexible design. Kurbanov S.O., **Zhemgurazov S.M.**, Khasanov M.M.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 2018123261/13; application 06.26.18; publ. 04/16/2019, Bulletin. No. 11. 6 p.: ill.

12. **Pat. No. 183818** Russian Federation IPC E02B3/12. Heavy fascine of flexible design. Kurbanov S.O., **Sozaev A.A.**, Kushaeva E.A.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 2018122327/13; application 06/18/18; publ. 10/04/2018, Bulletin. No. 28. 6 p.: ill.

13. **Pat. No. 2758239** Russian Federation IPC E02B3/00. Anti-erosion fastening of biopositive design. Kurbanov S.O., **Nastaeva Zh.Kh.**, Shalov I.T.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 2020131904; application 09.25.2020; publ. 10/26/2021, Bulletin. No. 30. 6 p.: ill.

14. **Pat. No. 2800940** Russian Federation IPC E02B3/00. A method for constructing anti-erosion fastenings from flexible mattresses. Kurbanov S.O., **Kurbanov K.S.**, Nastaeva Zh.Kh.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 202131540; application 12/01/2022; publ. 08/01/2023, Bulletin. No. 22. 6 p.: ill.

15. **Pat. No. 2801714** Russian Federation MПК E02B3/06 Retaining wall of reinforced soil structure to protect coastal zones from collapse and erosion. Khanov N.V., **Kurbanov S.O.**, Chernykh O.N.; applicant and patent holder FSBEI HPE Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev. No. 2022128586; application 03.11.2022; publ. 08/15/2023, Bulletin. No. 23. 6 p.: ill.

16. **Pat. No. 2801750** Russian Federation MПК E02B3/06 Method for constructing a retaining wall of a combined structure to protect coastal zones from erosion. Khanov N.V., **Kurbanov S.O.**, Zborovskaya M.I.; applicant and patent holder FSBEI HPE Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev. No. 2022128587; application 03.11.2022; publ. 08/15/2023, Bulletin. No. 23. 6 p.: ill.

## Сведения об авторах

**Нартмир Владимирович Ханов**, д-р техн. наук, профессор; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

**Салигаджи Омарович Курбанов**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AAB-7875-2020; Scopus AuthorID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; AuthorID: 361638; Kurbanov-salih@rambler.ru

**Ольга Николаевна Черных**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

**Фатима Толовна Дударова**, научный сотрудник; ORCID: 0000-0003-0191-5950; fdudarova@mail.ru

## About the authors

**Nartmir V. Khanov**, DSc (Eng), professor; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

**Saligadzi O. Kurbanov**, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: AAB-7875-2020; Scopus AuthorID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; AuthorID: 361638; Kurbanov-salih@rambler.ru

**Olga N. Chernikh**, DSc (Eng), professor; WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

**Fatima T. Dudarova**, research associate; ORCID: 0000-0003-0191-5950; fdudarova@mail.ru

## Критерии авторства / Criteria of authorship

Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н., Дударова Ф.Т. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

## Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

Khanov N.V., Kurbanov S.O., Chernykh O.N., Dudarova F.T. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-63-70>

УДК 627.838



## КРЕПЛЕНИЕ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ШАХТНО-БАШЕННОГО ВОДОСБРОСА ГИДРОУЗЛА «16 ТИШРИН»

Е.С. Алсадек

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

**Аннотация.** Исследования проводились с целью определения условий работы крепления нижнего бьефа за расширяющимся водобойным колодцем шахтно-башенного водосброса гидроузла «16 Тишрин» в Сирийской Арабской Республике. Выполнены расчеты допустимых скоростей, не вызывающих размывов, исходя из средних диаметров частиц грунта нижнего бьефа и фактических скоростей, измеренных в лаборатории на фрагментарной модели устройства крепления выходного участка трехочкового закрытого водосброса с шахтным входным оголовком при максимальном эксплуатационном расходе и работе сооружения всем фронтом. Проблема деформаций и размывов в нижнем бьефе гидроузла «16 Тишрин» существует уже много лет, и до сих пор не найдено никакого практического решения, кроме того, что каждые 2-3 года яма размыва засыпается грунтом с неизученными размерами фракции. Также в процессе экспериментов оценена работа водобойного колодца при разных схемах маневрирования затворами. Лабораторное подтверждение пути предлагаемого практического решения этой проблемы, обеспечивающего надежную и безопасную работу водосбросного сооружения и всей плотины в целом, подчеркивает актуальность решения этой задачи для водного хозяйства северо-западной части Сирии.

**Ключевые слова:** гидроузел «16 Тишрин», нижний бьеф, деформация русла, допустимая скорость, крепление

**Формат цитирования:** Алсадек Е.С. Крепление в нижнем бьефе шахтно-башенного водосброса гидроузла «16 Тишрин» // Природообустройство. 2024. № 3. С. 63-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-63-70>

Original article

## FASTENING IN THE DOWNSTREAM OF THE SHAFT-TOWER SPILLWAY OF THE “16 TISHRIN” HYDROELECTRIC COMPLEX

E.S. Alsadek

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, Russia

**Abstract.** The research was carried out to determine the operating conditions of the downstream fastenings behind the expanding stilling basin of the mine-tower spillway of the «16 Tishrin» hydroelectric complex in the Syrian Arab Republic. Calculations were made of permissible velocities that do not cause erosion, based on the average diameters of downstream soil particles and actual velocities measured in the laboratory on a fragmentary model of the fastening unit for the outlet section of a three-point closed spillway with a shaft inlet head at maximum operating flow and operation of the structure along the entire front. The problem of deformations and erosion in the downstream of the 16 Tishrin hydroelectric complex has already existed for many years, and no practical solution has yet been found, except that every two – three years the erosion pit is filled with soil with unstudied fraction sizes. Also, during the experiments, the operation of the stilling basin was assessed under different gate maneuvering schemes. Laboratory confirmation of the proposed practical solution to this problem, ensuring reliable and safe operation of the spillway structure and the entire dam as a whole, emphasizes the relevance of solving this problem for the water economy of the northwestern part of Syria.

**Keywords:** hydraulic complex «16 Tishrin», downstream, channel deformation, permissible velocity, fastening

**Format of citation:** Alsadek E.S. Fastening in the downstream of the shaft-tower spillway of the “16 Tishrin” hydroelectric complex // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 63-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-63-70>

**Введение.** Гидроузел «16 Тишрин» на реке Ал Кабир Ал Шамали (Северный Кебир), расположенный недалеко от города Латакия на северо-западе Сирийской Арабской Республики (САР), включает в себя (рис. 1а): плотину высотой 52 м, шириной гребня 12 м, длиной 915 м; береговой и шахтный водосбросы и два водозаборных сооружения; водохранилище сезонного регулирования речного стока (полный объем при НПУ = 74,85 м составляет 210 млн м<sup>3</sup>). Гидроузел носит важное комплексное назначение для САР: орошает не менее половины сельхозгодий области Латакии, снабжает водой более 200 городов и деревень, является интенсивно посещаемой туристической зоной. В процессе строительства (1976-1987 гг.) и последующей эксплуатации сооружений гидроузла были обнаружены недостатки проектирования, которые привели к удорожанию сметной стоимости, необходимости изменения проекта уже в процессе строительства и к дополнительным затратам на ликвидацию дефектов, обнаружившихся после ввода гидроузла в эксплуатацию [1-3].

В водохранилище по мере уменьшения скорости течения воды и с ростом глубины наносы, транспортируемые потоком, начинают осаждаться на дне, располагаясь в направлении напорного фронта гидроузла с убыванием фракций по крупности [4-7]. Гидроузел вносит существенное изменение в режим течения воды в реке на участках до сооружений и после них. В верхнем бьефе идет процесс аккумуляции наносов. Концентрация и отложение наносов у водопропускных сооружений приводят к некоторому увеличению пропускаемых расходов через гидроузел по сравнению

с бытовыми значениями, изменению плановой структуры потока. Осветление воды в водохранилище в свою очередь значительно повышает размывающую способность потока, поступающего в нижний бьеф, интенсифицирует там русловые процессы, ведет к переформированию русла и образованию ям размыва сразу за концевым креплением глубиной, достигающей 3 м [8].

**Цель исследований:** определение условий работы крепления нижнего бьефа за расширяющимся водобойным колодцем шахтно-башенного водосброса гидроузла «16 Тишрин» в Сирийской Арабской Республике.

**Материалы и методы исследований.** Исследуемый объект – нижний бьеф за концевым сечением трехочкового водопроводящего транзитного трубчатого участка шахтно-башенного водосброса гидроузла «16 Тишрин» на реке Северный Кебир (Ал Кабир Ал Шамали) (рис. 1б).

Эксплуатационный расход шахтного водосброса:  $Q = 300 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $h_{\text{НБ}} = 3.1 \text{ м}$ ) при работе одной водоотводящей трубы водосброса;  $Q = 600 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $h_{\text{НБ}} = 4.3 \text{ м}$ ) при работе двух труб;  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $h_{\text{НБ}} = 4.9 \text{ м}$ ) при работе трех труб. Размер водобойного колодца шахтного водосброса был определен в проекте по условию гашения энергии потока с расходом  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$ . Он запроектирован плавно расширяющимся в плане с углом раструбности  $\theta = 9.45^\circ$  и шириной, изменяющейся от 15 до 30 м. Длина водобойного колодца составляет 45 м, глубина – 9 м. Рисберма за водобойным колодцем тоже плавно расширяется в плане (угол расширения  $\alpha = 22.4^\circ$ ) на длине 40 м, имея в начале ширину 30, а в конце – 63 м. За рисбермой находится



а



б

Рис. 1. Основные гидротехнические сооружения гидроузла «16 Тишрин»:

а – план, полученный средствами Google Earth Pro

(1 – грунтовая плотина; 2 – регулируемый водосброс; 3 – нерегулируемый шахтно-башенный водосброс; 4 – левобережный ирригационный водовыпуск; 5 – ирригационный правобережный туннель);

б – входной оголовок исследуемого шахтного водосброса

Fig. 1. The main hydraulic structures of the 16 Tishreen hydroelectric complex:

а – plan obtained by Google Earth Pro means:

1 – soil dam; 2 – regulated spillway; 3 – unregulated mine-tower spillway;

4 – left-bank irrigation water outlet; 5 – right-bank irrigation tunnel;

б – inlet head of the shaft spillway under study

концевое устройство в виде ковша глубиной 3 м, заполненного крупным камнем диаметром от 0,2 до 0,5 м (рис. 2). Длина ковша составляет 28 м, а ширина нижнего бьефа за ним – 106,4 м [1, 9, 10].

Масштаб геометрического подобия фрагментарной модели  $a_l = 70$  выбирался в соответствии с обеспечением максимальными расходами моделируемого водосбросного участка насосами, имеющимися в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений ИМВХиС имени А.Н. Костякова, и с учетом размеров экспериментальной площадки для соблюдения оптимальной конструктивной ширины в нижнем бьефе гидроузла «16 Тишрин»:

$$a_l = \frac{L_{\text{н}}}{L_{\text{м}}}, \quad (1)$$

где  $a_l$  – линейный масштаб модели;  $L$  – длина; индексы «м» и «н» означают «модель» и «натура», то есть  $L_{\text{м}} a_l = L_{\text{н}}$ .

Для пересчета параметров потока с модели на натуру использовались известные соотношения [4, 11].

Определяющей силой, действующей на поток при сопряжении бьефов на неразмываемом русле и установившихся во времени режимах движения, являются гравитационные силы тяжести. Силы вязкости при этом имеют меньшее значение. Поэтому моделирование проводилось по закону гравитационного подобия, и основным критерием подобия в рассматриваемой задаче являлось число Фруда  $Fr = \text{idem}$ ) при автомодельности гидравлических явлений по числу

Рейнольдса ( $Re > Re_{sp}$ ). Поскольку минимальное значение числа Рейнольдса на модели  $= 5,3 \cdot 10^3$ , максимальное  $= 1,99 \cdot 10^4$  при граничном значении числа Рейнольдса  $Re_{sp} = 247,12$ , то условие автомодельности для данной модели соблюдается. Это не только подтверждает правильность принятия масштаба моделирования 1:70, но и возможность его укрупнения. В соответствии с этим масштабом на модели ( $a_l = 70$ ) максимальные эксплуатационные расходы шахтного водосброса составили во время эксперимента:  $Q_{\text{м}} = 7,31, 14,63, 21,95$  л/с, а соответствующие им глубины воды в нижнем бьефе –  $h_{\text{НБ м}} = 4,4, 6,14$  и 7,0 см.

Эксперименты проводились при пропуске эксплуатационных расходов тремя трубами шахтного водосброса при разных схемах их открытия с измерением фактических скоростей в нижнем бьефе за рисбермой, в ковше и русловой части нижнего бьефа в створах по длине I...XI и поперечных створах 1...7, расположенных на модели с одинаковым шагом, равным 20 см, образуя сетку, удобную для изображения поля скоростей в нижнем бьефе водосброса (рис. 3).

К основным измеренным параметрам в ходе исследований относились расход, уровни, глубина и скорость потока. Датчики ультразвукового расходомера Днепр-7 были установлены на подающей трубе, через которую вода поступала на экспериментальную установку. При проведении модельных лабораторных исследований местная скорость потока по выбранным сечениям измерялась трубкой Пито, привязанной

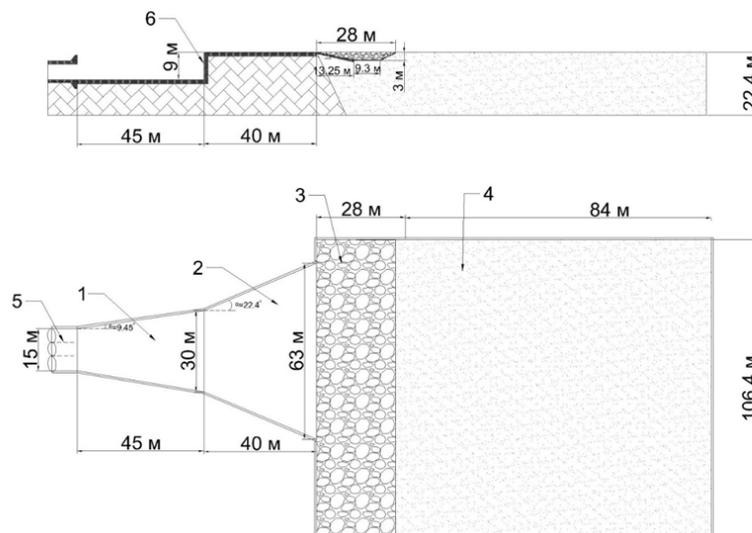


Рис. 2. Фрагмент продольного разреза и план исследуемого участка нижнего бьефа с натурными размерами:

- 1 – водобойный колодец; 2 – рисберма; 3 – ковш; 4 – русло;  
5 – трубы водосброса; 6 – порог водобойного колодца

Fig. 2. Fragment of the longitudinal section and plan of the studied section of the downstream with full-scale dimensions:

- 1 – stilling basin; 2 – apron; 3 – bucket; 4 – channel; 5 – spillway pipes; 6 – threshold of the stilling basin

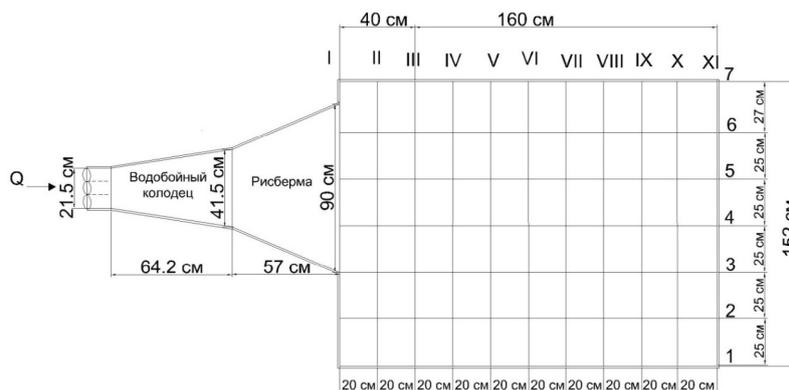


Рис. 3. Схема замера скоростей на модели по продольным и поперечным створам: 1...7 – номера продольных створов; I...XI – номера поперечных створов. М1:70

Fig. 3. Scheme of velocities measurement on the model by longitudinal and transverse alignments: 1...7 – numbers of longitudinal alignment; I... XI – numbers of transverse alignments. M1:70

к шпигтценмасштабу. Отметка свободной поверхности потока определялась отдельным шпигтценмасштабом с точностью измерения до 0,1...0,3 мм в зависимости от величины колебания свободной поверхности на участке измерения [12-14]. На рисунке 3 представлена схема расположения точек измерения скоростей и глубин потока на модели.

Для дальнейшего анализа фактических скоростей были определены допускаемые скорости. Для определения величины допускаемой скорости использовалась формула Ц.Е. Мирцхулавы [15-17]:

$$[V] = \left( \lg \frac{8.8h}{d} \right) \cdot \sqrt{\frac{2mgd}{0.44n}} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{\rho_{\text{во}}}{\rho_{\text{гр}}} \right)} \quad (2)$$

где  $h$  – глубина потока;  $d$  – средний диаметр частиц, слагающих русло реки;  $\rho_{\text{гр}} = 2650 \text{ кг/м}^3$  – плотность частиц грунта;  $\rho_{\text{во}} = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды;  $m = 1.4$  – коэффициент, учитывающий мутность воды;  $n$  – коэффициент, учитывающий пульсацию донной скорости

$$n = 1 + \frac{1}{0.3 + \sqrt[3]{\frac{v^2}{g} \cdot \frac{1}{d}}} = 4.32 \quad (3)$$

$v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  – коэффициент кинематической вязкости воды;  $g = 9.81 \text{ м}^2/\text{с}$  – ускорение свободного падения.

С учетом этого для частиц грунта крупнее 1 мм по формуле (3) получаем  $n = 4.32$ :

$$[V] = 4.88 \cdot \left( \lg \frac{8.8h}{d} \right) \cdot \sqrt{d} \quad (4)$$

При нахождении среднего диаметра частиц грунта использовались данные по гранулометрическому составу грунта ложа русла реки Северный Кебир в створе сооружений гидроузла «16 Тишрин», приведенные в таблице 1 [1, 16, 17].

На основании данных таблицы 1 был рассчитан средний диаметр грунта  $d_{\text{ср}}$ , слагающего русловую часть нижнего бьефа за расширяющимся

водобойным колодцем шахтного водосброса как для первого, так и для второго слоев ложа русла, и получено, что  $d_{\text{ср1}} = 0.039 \text{ м}$ ,  $d_{\text{ср2}} = 0.045 \text{ м}$ .

С помощью программы, составленной в Excel, был построен график, который показывает связь допустимых скоростей в районе ковша и русла в зависимости от глубины воды в нижнем бьефе и в зависимости от среднего диаметра грунта русла реки для первого и второго слоев грунта (рис. 4).

**Результаты и их обсуждение.** Результаты измерения скоростей потока в нижнем бьефе при различных режимах работы водосброса представлены в таблице 2.

Анализ результатов лабораторных измерений скорости показал, что скорости, образующиеся в нижнем бьефе, имеют наибольшую величину при прохождении максимального эксплуатационного расхода  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимальное значение скорости потока в зоне ковша приходится на конечное сечение схода воды с рисбермы и при максимальном эксплуатационном расходе  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$ , фактическая скорость достигает 2.870 м/с. Максимальное значение скорости на участке русла по оси потока приходится на конечную точку истечения воды из ковша, на расстоянии от рисбермы 28 м, и при максимальном эксплуатационном расходе  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$  значение фактической скорости здесь может достигнуть 2.015 м/с.

Фактические скорости имеют важное значение для прогноза размывов в начале участка ковша и начале участка неукрепленного русла, в створе номер I и III, соответственно на расстоянии от рисбермы, с 0 до 28 м. Сравнение фактических и допускаемых скоростей при разных режимах работы водосброса представлено в таблице 3, где допустимые скорости рассчитывались по формуле Ц.Е. Мирцхулавы (4), исходя из глубины воды в нижнем бьефе и среднего диаметра грунта  $d_{\text{ср}}$ .

Таблица 1. Гранулометрический состав грунта в створе гидроузла на реке Северный Кабир  
Table 1. Granulometric composition of the soil in the alignment of the hydroelectric complex on the Northern Kabir River

Номер слоя Layer number	Глубина слоя отбора проб, м Depth of the sampling layer, m	Процентное содержание частиц крупностью, мм Percentage of particles with coarse size, mm									
		100-50	50-20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1
1	0-0.5	41.2	20.7	3.5	3.2	4	3.2	4.3	11.2	7.4	1.3
2	0.5-2.5	42.2	35.8	4.8	1.1	2.5	6.9	3	2.9	0.2	0.6
3	2.5-3.0	1.5	2.5	5	10.1	17.6	29.6	13.9	15.5	3.9	0.4
4	3.0-5.0	31.3	21.7	22.9	10.4	7.8	3.5	0.7	0.8	0.7	0.2
5	5.0-6.0	49.6	8	10.3	4.5	8	9	4	5.3	1.1	0.2

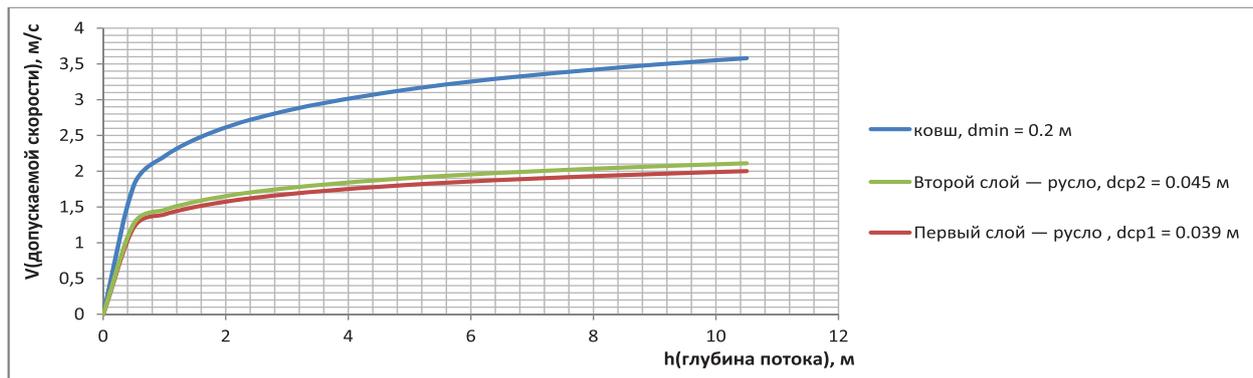


Рис. 4. Кривые зависимости неразмывающих скоростей потока в зависимости от его глубины  $[V] = f(h)$  при  $d_{50\%}$

Fig. 4. Curves of dependence of non-erosion flow velocities as a function of its depth  $[V]=f(h)$  at  $d_{50\%}$

Таблица 2. Максимальные скорости в нижнем бьефе за рисбермой  
Table 2. Maximum downstream velocities behind the apron

	$V_{\text{Нmax}}, \text{ м/с}$				
	номер поперечных створов number of transverse alignments	расстояние от рисбермы в натуре, м distance from the apron in nature, m	$Q_{\text{Н}}=300 \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{Н}}=600 \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{Н}}=900 \text{ м}^3/\text{с}$
<b>Ковш</b> Bucket	I	0	2.020	2.703	2.870
	II	14	1.626	2.234	2.414
	III	28	1.175	1.821	2.015
<b>Русло</b> Channel	IV	42	1.125	1.621	1.822
	V	56	0.925	1.425	1.742
	VI	70	0.923	1.368	1.735
	VII	84	0.912	1.364	1.725
	VIII	98	0.909	1.365	1.725
	IX	112	0.902	1.365	1.725
	X	126	0.912	1.365	1.724
	XI	140	0.901	1.365	1.722

Результаты анализа сопоставления фактических и расчетных скоростей показывают, что скорости, создаваемые над зоной ковша в нижнем бьефе, находятся в пределах допустимого диапазона ввиду принятия заполнения ковша камнем с диаметром (0.2...0.5) м, соответствующим допустимым скоростям в нем.

Результаты анализа распределения максимальных скоростей в начале участка русла после

ковша показывают, что их значения превышают допустимые скорости при расходе  $600 \text{ м}^3/\text{с}$ . В этом месте нижнего бьефа значения скоростей достигают максимальных величин (1.821 м/с), хотя допустимая скорость здесь не должна превышать 1.771 м/с. Это свидетельствует о том, что в нижнем бьефе здесь будут происходить деформации, что требует поиска инженерных решений по более эффективному гашению энергии потока.

Согласно результатам анализа измерений в сечениях за ковшем скорость 2.015 м/с, образующаяся при максимальном эксплуатационном расходе  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$ , превышает допустимую скорость для первого и второго слоев грунта, после зоны ковша. Это указывает на возможность деформации и размыва, достигающего глубины порядка 2.5 м.

На основании предыдущих результатов можно назначить необходимую длину ковша, а также определить диаметры камней, которые

**Таблица 3. Сравнение максимальной фактической скорости и допустимой скорости в нижнем бьефе для первого и второго слоев грунта русла**

**Table 3. Comparison of the maximum actual velocity and the permissible downstream velocity for the first and second layers of the channel soil**

	$Q_H = 300 \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_H = 600 \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_H = 900 \text{ м}^3/\text{с}$
<b>Ковш / Bucket</b>			
$V_{\text{факт}}$ , м/с	2.020	2.703	2.870
$V_{\text{доп}}$ , м/с	2.867	3.033	3.134
<b>Русло / Channel</b>			
$V_{\text{факт}}$ , м/с	1.175	1.821	2.015
$V_{\text{доп1}}$ , м/с	1.687	1.771	1.805
$V_{\text{доп2}}$ , м/с	1.773	1.863	1.90

следует положить за рисбермой, обеспечивающих отсутствие размыва на дне нижнего бьефа закрепленной частью данного водосброса. Для определения этого допустимые скорости необходимо сравнить с максимальными фактическими скоростями, возникающими при прохождении максимального эксплуатационного расхода  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$  на различных участках нижнего бьефа (табл. 4).

Можно констатировать, что для первого слоя грунта, слагающего русло реки в нижнем бьефе гидроузла до глубины 0.5 м, фактические скорости при работе водосброса всеми тремя трубами и максимальном расходе  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$  превышают допустимые по всей длине участка после ковша на расстоянии 28...56 м от рисбермы. На этом расстоянии происходят деформация и эрозия грунта дна водотока, поэтому длину ковша, представляющего собой практически гибкую часть рисбермы, необходимо продлить на расстояние не менее 56 м с толщиной более 0,5 м. В сечениях после ковша на расстоянии 28 м скорость воды в начале русла превышает допустимое значение и для второго слоя грунта нижнего бьефа. Это указывает на то, что во втором слое также могут возникать размывы на расстоянии от 28 м до 42 м, причем размыв может достигать глубины 2.5 м.

Необходимые средние диаметры грунта, устойчивого против размыва, рассчитывались

**Таблица 4. Максимальные фактические и допустимые скорости по исследуемой части нижнего бьефа при максимальном эксплуатационном расходе  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$  шахтного водосброса**

**Table 4. Maximum actual and permissible velocities for the studied part of the downstream at the maximum operating flow  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$  of the shaft spillway**

	Максимальная фактическая скорость при максимальном расходе водосброса $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$ <i>Maximum actual velocity at maximum spillway discharge <math>Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}</math></i>			Допустимая скорость при максимальном расходе водосброса $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$ для грунта первого и второго слоев русла реки в нижнем бьефе (формула 4) <i>Permissible velocities at the maximum operating flow <math>Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}</math> for the soil of the first and second layers of the river channel in the downstream (formula 4)</i>	
	номер поперечных створов <i>number of transverse alignments</i>	расстояние от рисбермы в натуре, м <i>distance from the apron in nature, m</i>	$V_{\text{факт}}$ , м/с	$V_{\text{доп1}}$ , м/с	$V_{\text{доп2}}$ , м/с
<b>Ковш</b> <i>Bucket</i>	I	0	2.870	3.134	
	II	14	2.414		
	III	28	2.015		
<b>Русло</b> <i>Channel</i>	IV	42	1.822	1.805	1.90
	V	56	1.742		
	VI	70	1.735		
	VII	84	1.725		
	VIII	98	1.725		
	IX	112	1.725		
	X	126	1.724		
	XI	140	1.722		

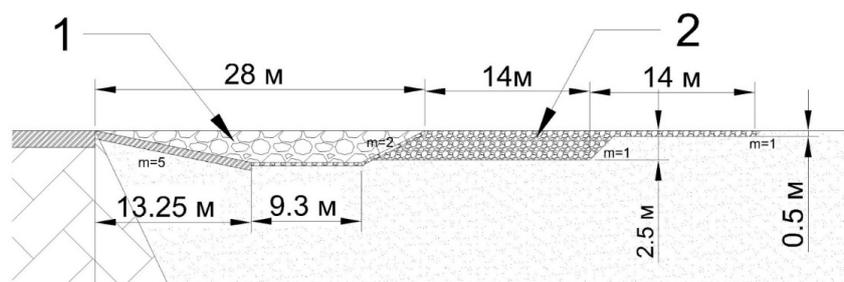


Рис. 5. Продольный разрез исследуемой части крепления в нижнем бьефе после внесения модификаций:

- 1 – существовавшая ранее часть крепления с диаметром камня ( $d = 0.2 \dots 0.5$  м);  
2 – предлагаемая часть крепления с диаметром камня  $d_{\text{срдоп}} > 6$  см

Fig. 5. Longitudinal cross-section of the studied part of the downstream fastening after introduction of modification:

- 1 – the pre-existing part of the fastening with the diameter of the stone ( $d = 0.2 \dots 0.5$  м);  
2 – the proposed part of the fastening with the diameter of the stone  $d_{\text{срдоп}} > 6$  см

исходя из максимальных значений фактических скоростей  $V = 2.015$  м/с при максимальном расходе  $Q = 900$  м<sup>3</sup>/с. Используя формулу Ц.Е. Мирцхулавы, с помощью программы Excel по формуле (4) получили, что при  $Q = 900$  м<sup>3</sup>/с и  $h_{\text{но}} = 4.9$  м для защиты от размыва необходим минимальный диаметр каменного крепления более  $d_{\text{ср}} = 0.0532$  м  $\approx 6$  см.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для обеспечения устойчивой и безопасной для других сооружений гидроузла работы нижнего бьефа целесообразно за концевым сечением существующего и заполненного крупным камнем ковша устроить крепление из отсыпки камня диаметром не менее 6 см глубиной до 2,5 м на длину 14 м, а затем еще на длину 14 м устроить крепление с таким же  $d_{\text{ср}}$  на глубину 0,5 м (рис. 5). Иными словами, можно создать при реконструкции или капитальном ремонте за бетонным участком рисбермы гибкую рисберму из каменной наброски суммарной длиной 56 м, которую можно даже закончить зубом из бетона, камня или габионных структур глубиной не более 1 м.

### Выводы

Основные выводы по результатам проведенных исследований можно кратко сформулировать следующим образом.

#### Список использованных источников

1. ТЭО гидроузла «Северный Кебир в САР». М.: «Союзгипроводхоз». Арх. № 13246-Г. 1977.
2. Алали Х., Перминов А.В. Испарение воды из водохранилища 16 Тишрин в Сирии: измерение объема и оценка экономических последствий // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 314-331.
3. Алали Х., Перминов А.В., Редников С.Н., Аلسадек Е.С. Морфометрический анализ бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии с использованием изображения ASTER (цифровая модель рельефа) на основе ГИС-технологии // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т. 10, № 1. С. 46-58.

Существующие натурные наблюдения и проведенные аналитические и экспериментальные модельные исследования выходного участка за шахтным водобросом гидроузла «16 Тишрин» на реке Ал Кабир Ал Шамали (Северный Кебир) показали, что скорости, возникающие при максимальных эксплуатационных расходах, вызывают размыв дна нижнего бьефа за рисбермой, несмотря на наличие запроектированного и выполненного в соответствии с проектом ковша. Это угрожает безопасности водобросного сооружения и плотины в целом.

На основе результатов лабораторных исследований предложен вариант решения проблемы повышения надежности работы всего гидроузла удлинением крепления горизонтальной рисбермы после концевой участка в виде ковша на оптимальное расстояние с крупностью камня и толщиной крепления, обеспечивающих отсутствие размыва нижнего бьефа. Это можно считать наиболее экономичным и достаточно практичным решением благодаря своей дешевизне по сравнению с вариантом добавления энергогасителей на водобое или рисберме, а также ввиду простоты возможности его реализации.

#### References

1. Feasibility study of the North Kebir hydroelectric complex in the SAR. M.: "Soyuzgiprovodkhoz". Arch. No. 13246-G. 1977.
2. Alali H., Perminov A.V. Evaporation of water from the 16 Tishrin reservoir in Syria: measurement of volume and assessment of economic consequences // Melioration and hydraulic engineering. 2023. t. 13, no. 3. P. 314-331.
3. Alali Kh., Morphometric analysis of the Al Kabir Al Shamali river basin in Syria using ASTER images (digital elevation model) based on GIS technology / Perminov A.V., Rednikov S.N., Alsaadek E.S. // Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia. 2024. V. 10. No. 1. P. 46-58.

4. **Козырь И.Е., Пикалова И.Ф., Ханов Н.В.** Практикум по гидравлике: учебно-методическое пособие. СПб.: Лань, 2016. 176 с.

5. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие / Под ред. Д.Д. Лаппо. М.: Энергоатомиздат, 1988. 624 с.

6. **Гунько Ф.Г., Попова К.С., Климова М.М.** Местные размывы русел в нижних бьефах водосбросов. М.: Энергия, 1974. 61 с.

7. **Рассказов Л.Н. и др.** Гидротехнические сооружения: учебник: В 2 ч. / Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Изд-во АСВ, 2011.

8. **Comolet R.** Mécanique expérimentale des fluides – Tome 1 // Edité par masson. Paris, France, 1990. 242 p.

9. **Алсадек Е.С.** Недостатки конструкции водобойного колодца гидроузла Тишрин в САР и предложения по их исправлению / Гурьев А.П., Ханов Н.В., Козлов Д.В. // Гидротехническое строительство. 2023. № 9. С. 27-33.

10. **Alsadek E.S.** Proposals for correcting the deficiencies in the design of the stilling basin of the Tishrin dam in the SAR / Guryev A.P., Khanov N.V., Kozlov D.V. // Power Technology and Engineering. 2024. Vol. 57, № 6. Pp. 831-836. DOI: 10.1007/s10749-024-01744-8.

11. **Снежко В.Л.** Современные способы обработки данных гидравлического эксперимента: монография. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. 141 с.

12. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика: учебник. 5-е изд. СПб.: Лань, 2015. 656 с.

13. **Черных О.Н., Ханов Н.В.** Методика совершенствования учебного процесса в лабораторном комплексе кафедры гидротехнических сооружений // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2017. № 10. С. 44-52.

14. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселёв, А.Д. Альтшуль, Н.В. Данильченко и др. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.

15. **Мирицхулава Ц.Е.** Размыв русл и методика оценки их устойчивости. М.: Колос, 1967.

16. **Алсадек Е.С., Гурьев А.П., Ханов Н.В.** Теоретическое обоснование методики прогноза формирования русла реки Северный Кебир (САР) с использованием морфометрических зависимостей и гидравлических закономерностей движения воды // Гидротехническое строительство. 2022. № 10. С. 45-51.

17. **Alsadek E.S., Guryev A.P., Khanov N.V.** Theoretical Substantiation of the Method for Predicting the Formation of the Northern Kebir River (Syrian Arab Republic) Using Morphometric Dependencies and Hydraulic Patterns of Water Movement // Power Technology and Engineering. 2023. Vol. 56, № 6. Pp. 866-871. DOI: 10.1007/s10749-023-01602-z. EDN: UMQOLI.

#### Об авторе

**Елиас Садек Алсадек**, аспирант; eliasalsadek@gmail.com

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Алсадек Е.С. Выполнял практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.05.2024

4. **Kozyr I.E., Pikalova I.F., Khanov N.V.** Practicum on hydraulics. Educational and methodological manual. St. Petersburg, "Lan", 2016. 176 p.

5. Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures: reference manual / ed. D.D. Lappo. M.: Energoatomizdat, 1988. 624 p.

6. **Gunko F.G.** Local erosion of channels in the lower reaches of spillways / F.G. Gunko, K.S. Popova, M.M. Klimova. M.: Energy, 1974. 61 p.

7. Hydraulic structures. A textbook in 2 parts / L.N. Rasskazov and others; edited by L.N. Rasskazov. M.: Publishing House ASV, 2011

8. **Comolet R.** Mécanique expérimentale des fluides – Tome 1 / R. Comolet // Edité par masson. Paris, France. 1990. 242 p.

9. **Alsadek E.S.** Disadvantages of the design of the stilling basin of the Tishrin dam in the SAR and proposals for their correction / Guryev A.P., Khanov N.V., Kozlov D.V. // Hydrotechnical construction. 2023. No. 9. P. 27-33.

10. **Alsadek E.S.** Proposals for correcting the deficiencies in the design of the stilling basin of the Tishrin dam in the SAR / E.C. Alsadek, A.P. Guryev, N.V. Khanov, D.V. Kozlov // Power Technology and Engineering. 2024. Vol. 57, No. 6. P. 831-836. DOI 10.1007/s10749-024-01744-8.

11. **Snezhko V.L.** Modern methods of processing hydraulic experiment data: Monograph / V.L. Snezhko. M.: Publishing house RGAU-MSHA, 2015. 141 p.

12. **Shterenlikht D.V.** Hydraulics: textbook / D.V. Shterenlikht. – 5th ed. – St. Petersburg: Lan, 2015. – 656 p.

13. **Chernykh O.N.** Methodology for improving the educational process in laboratory complex of the department of hydraulic engineering structures / O.N. Chernykh, N.V. Khanov // Bulletin of the educational and methodological association for education in the field of environmental management and water use. 2017. No. 10. P. 44-52.

14. Handbook of hydraulic calculations / P.G. Kiselev, A.D. Altshul, N.V. Danilchenko [et al.] – M.: EKOLIT, 2011. – 312 p.

15. **Mirtsikhulava T.E.** Erosion of riverbeds and methods for assessing their stability. "Ear". 1967.

16. **Alsadek E.S.** Theoretical substantiation of the method for predicting the formation of the northern Kebir river (Syrian Arab Republic) using morphometric dependencies and hydraulic patterns of water movement / Guryev A.P., Khanov N.V. // Hydrotechnical construction. 2022. No. 10. P. 45-51.

17. **Alsadek E.S.** Theoretical substantiation of the method for predicting the formation of the northern Kebir river (Syrian Arab Republic) using morphometric dependencies and hydraulic patterns of water movement / E.S. Alsadek, A.P. Guryev, N.V. Khanov // Power Technology and Engineering. – 2023. Vol. 56, No. 6. P. 866-871. – DOI 10.1007/s10749-023-01602-z. – EDN UMQOLI.

#### Information about authors

**Elias S. Alsadek**, post graduate student; eliasalsadek@gmail.com

Alsadek E.S. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript. He has a copyright on the article and is responsible for plagiarism

## Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-71-79>

УДК 556:627.8:574.4



### ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИРРИГАЦИОННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ В АРИДНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

А.В. Перминов<sup>1✉</sup>, В.В. Ильинич<sup>2✉</sup>, С.Н. Редников<sup>1</sup>, Р.С. Маков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

<sup>2</sup> ФНЦ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

**Аннотация.** Целью исследований является оценка причин произошедшей деградации ирригационных водохранилищ в аридной зоне Европейской территории Российской Федерации и выявление мер, необходимых для их восстановления и возобновления орошения. Для достижения цели решались следующие задачи: выявление и анализ основных причин существенного сокращения использования водохранилищ на орошение; оценка изменений условий функционирования ирригационных водохранилищ аридной зоны Европейской территории Российской Федерации; обоснование необходимости восстановления орошения из ирригационных водохранилищ; обоснование возможности восстановления орошения из ирригационных водохранилищ. Исследования проведены на примере Ремонтненского водохранилища, находящегося в полупустынной зоне на границе Ростовской области и Республики Калмыкия согласно методическим рекомендациям, которые включали в себя как полевые измерения водных объектов, статистические методы обработки полученных данных, так и стохастическое моделирование водопользования, в соответствии с разработанными правилами регулирования стока. Среди результатов работы отмечаются установленные факты потепления климата и заиления водохранилища с соответствующим его обмелением, что приводит к существенному увеличению потерь на испарение. Необходимость должного функционирования водохранилищ подтверждается требованиями декларации безопасности гидротехнических сооружений и экологическими требованиями. Возможность потенциального использования водохранилищ для ирригации подтверждается результатами моделирования согласно рациональным правилам управления водными ресурсами.

**Ключевые слова:** инженерная гидрология, ирригационное водохранилище, аридная зона, климатические факторы

**Формат цитирования:** Перминов А.В., Ильинич В.В., Редников С.Н., Маков Р.С. Проблемы использования ирригационных водохранилищ в аридной зоне Европейской территории России // Природообустройство. 2024. № 3. С. 71-79. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-71-79>

Scientific article

### PROBLEMS OF USING IRRIGATION RESERVOIRS IN THE ARID ZONE OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

A.V. Perminov<sup>1✉</sup>, V.V. Ilinich<sup>2✉</sup>, S.N. Rednikov<sup>1</sup>, R.S. Makov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

<sup>2</sup> FSC Federal State Budgetary Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, building 2, Russia

**Abstract.** The aim of the research is to assess the reasons for the degradation of irrigation reservoirs in the arid zone of the European Territory of the Russian Federation and to identify measures necessary for their rehabilitation and resumption of irrigation. Accordingly, the following problems are solved: identification and analysis of the main reasons for a significant reduction in the use of reservoirs

for irrigation; assessment of changes in the conditions of functioning of irrigation reservoirs in the arid zone of the European Territory of the Russian Federation; justification of the need to restore irrigation from irrigation reservoirs; justification of the possibility of restoring irrigation from irrigation reservoirs. The research was carried out on the example of the Remontnenskoye reservoir, located in the semi-desert zone on the border of the Rostov region and the Republic of Kalmykia, according to the methodological approaches, which included both field measurements of water objects, statistical methods respect to the obtained data, and stochastic modeling of water use according to the developed rules for runoff regulation. Among the results of the work the established facts of climate warming and siltation of the reservoir with its corresponding shallowing, which leads to a significant increase in evaporation losses, are noted. The need for proper functioning of reservoirs is confirmed by the requirements of the declaration for safety of hydraulic structures and environmental requirements for managed water resources. The possibility of potential use of reservoirs for irrigation is confirmed by modeling results according to rational rules of water resources management.

**Keywords:** engineering hydrology, water reservoir, arid zone, climatic factors

**Format of citation:** Perminov A.V., Plinich V.V., Rednikov S.N., Makov R.S. Problems of using irrigation reservoirs in the arid zone of the European territory of Russia // *Prirodoobustrojstvo*. 2024. No. 3. P. 71-79. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-71-79>

**Введение.** В 1960-1980-е гг. XX в. в аридной зоне [1] Европейской территории Российской Федерации (далее – ЕТ РФ), в восточной части Ростовской области, в Калмыкии, Ставропольском крае, Волгоградской и Саратовской областях, были построены десятки ирригационных водохранилищ с гидротехническими сооружениями третьего класса, большинство из которых сегодня не эксплуатируется. С начала XX в., после двух-трех десятилетий использования водохранилищ, применение их для орошения, рыбоводства, рекреации существенно сократилось или совсем исчезло. Основными причинами такого факта стали изменившиеся социально-экономические условия, характеристики самих водохранилищ и климатических факторов, определяющие величину элементов их водного баланса.

Восстановление функций водохранилищ необходимо для поддержания их безопасности согласно действующим требованиям [2]. В недалекой перспективе появятся и экологические проблемы искусственных водоемов как объектов природообустройства [3, 4], поскольку процесс заиления водохранилищ может привести к полному их заполнению наносами и материалами переработки берегов. Тем не менее их потенциальное водопользование в целях сельского хозяйства необходимо и возможно. Для уточнения степени необходимости и возможности восстановления орошения и других сопутствующих функций (сельскохозяйственное водоснабжение, рыбоводство, рекреация, выдерживание экологических критериев и т.п.) в исследованиях была поставлена цель: проведение детальной оценки причин произошедшей деградации водохранилищ и определение мер, необходимых для их восстановления и возобновления

орошения. Для достижения поставленной цели решались такие задачи, как выявление и анализ основных причин сокращения использования водных ресурсов водохранилищ на орошение, оценка изменений условий функционирования ирригационных водохранилищ аридной зоны ЕТ РФ.

#### **Материалы и методы исследований.**

В рамках выполнения представляемой научно-исследовательской работы проводились аналитические и экспедиционные исследования по ряду водохранилищ с гидротехническими сооружениями 3 класса аридной зоны ЕТ РФ. Для решения поставленных задач среди водохранилищ было выбрано Ремонтненское водохранилище, расположенное примерно в 50 км от столицы Калмыкии – г. Элисты, на пересыхающей летом р. Чикалда с площадью водосбора 347 км<sup>2</sup>.

*Физико-географические характеристики региона.* Климат территории считается переходным от степного к пустынному. По агроклиматическому районированию регион относится к очень жаркому засушливому климату.

Рельеф местности представлен аккумулятивно лессовой ступенчатой и плоской равниной с суффозионно-просадочным и лощинно-балочным расчленением на моноклиналиное и горизонтальное залегание пород, речные склоны водосбора имеют уклоны 0,0007-0,001. Почвы в районе в основном светло-каштановые, а подстилающими для них являются лессовидные глины и суглинки, чехлом (20-40 м) покрывающие все водосборы. Основное водное питание (порядка 80%), весеннее половодье, многоводной своей частью приходится на конец февраля – март. Дождевые паводки бывают редко и наблюдаются обычно в 5-6 месяцах.

Анализ социальных и хозяйственно-административных проблем региона. В большинстве случаев официальными хозяевами гидротехнических сооружений водохранилищ являются сельские поселения с исключительно малым годовым бюджетом. Штат администрации поселений состоит из 2-3 сотрудников, какие-либо измерения или действия по управлению на гидротехнических объектах практически не проводятся. Необходимо также отметить существенное удаление водных объектов от самих сельских поселений (зачастую более 10 км при бездорожье), и тем более – от районных (порой более 50 км) и областных центров (до 500 км).

В последнее время во многих регионах восточной части Ростовской области и Калмыкии стали развиваться животноводческие хозяйства, использующие ограниченные кормовую базу и питьевую воду, в том числе из оставшихся, практически бесхозных, водохранилищ.

Оценка изменения основных климатических факторов, влияющих на элементы водного баланса водохранилищ. Оценка проводилась на основе многолетних данных метеостанции г. Элисты, имеющей достаточно представительные метеорологические наблюдения [5] в рамках аридной зоны РФ и расположенной примерно на расстоянии до 50 км от Ремонтненского водохранилища.

Приведен анализ хронологических изменений среднегодовых температур относительно их среднеевропейских величин за весь год, за весь вегетационный период (IV-VIII месяцы)

и средних температур за вегетационный период (IV-VI месяцы), предшествующий началу уборки большинства сельхозкультур.

Хронологические графики перечисленных температурных характеристик представлены на рисунке 1 наряду с их разностными интегральными кривыми (РИК), ординаты ( $R_i$ ) которых являются накапливающейся суммой разностей температуры текущего года и ее среднеевропейской величины:

$$R_i(T) = \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T}), \quad (1)$$

где  $i$  – номер года в хронологическом порядке;  $T_i$  – средние температуры по выделенным периодам года;  $\bar{T}$  – средняя многолетняя величина температур воздуха относительно выделенных периодов года.

По всем хронологическим графикам температуры воздуха рассмотренных периодов можно наблюдать положительные тенденции. Из представленных разностных интегральных кривых температур можно заключить, что период с 1960 по 1994 гг. можно признать холодным относительно средней многолетней температуры как годовой, так и сезонных величин выделенных периодов (очевидна их отрицательная тенденция за указанный период). Также можно признать, что с 1995 г. началось относительное потепление климата (положительные тенденции кривых). Можно выделить еще более теплый интервал с 2005 по 2020 гг., в пределах которого наблюдались только три года с температурой, ниже среднеевропейской.

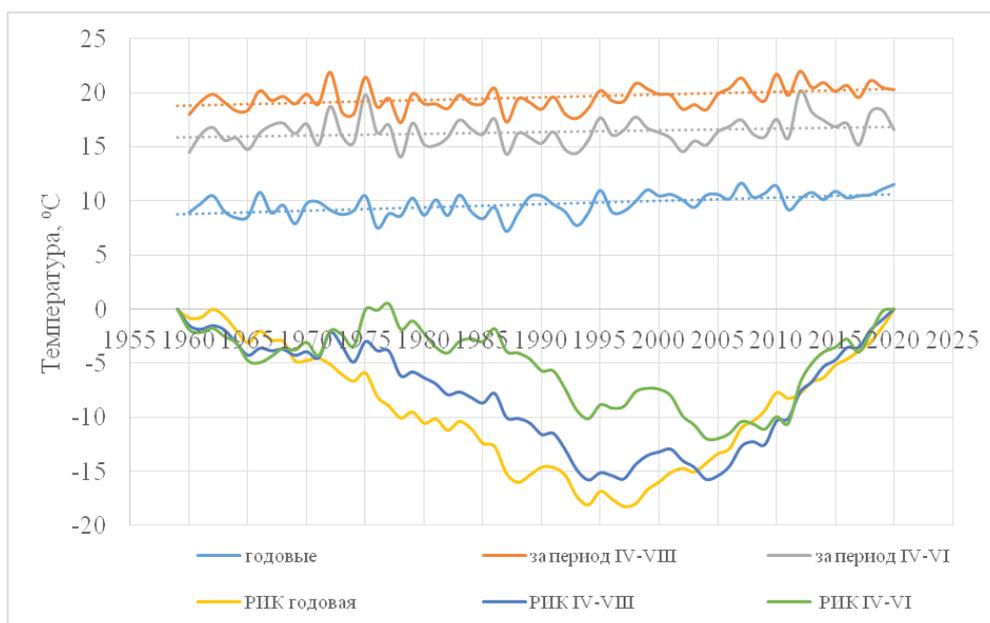


Рис. 1. Графики температур воздуха по многолетним рядам и их разностные интегральные кривые (РИК)

Fig. 1. Graphs of air temperatures for multi-year series and their difference integral curves (DIC)

С целью оценки значимости температурных различий выделенных периодов были использованы известные критерии Стьюдента и Фишера [6, 7].

Для вычисления критерия Стьюдента использовалась традиционная формула:

$$t = \frac{\bar{T}_1 - \bar{T}_2}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (2)$$

где  $\bar{T}_1$  и  $\bar{T}_2$  – средние значения температур сравниваемых рядов по данным за  $n_1$  и  $n_2$  лет;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – их среднеквадратические отклонения.

Распределение статистики  $t$  зависит от числа степеней свободы. В данном случае  $\gamma = n_1 + n_2 - 2$ . Вычисленные значения  $t$  сравнивались с допустимыми  $t^*$  по таблице распределения Стьюдента при традиционном уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . На основании различий  $t^*$  и  $t$  принималось решение относительно однородности рядов по этому критерию.

Критерий Фишера оценивался по соотношению:

$$F = \frac{D}{D^*}, \quad (3)$$

где  $D$  – дисперсия ряда, у которого это численное значение является большей величиной;  $D^*$  – дисперсия ряда, у которого оно является меньшей величиной.

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  $\alpha = 0,05$ .

В целом при проведении анализа рассматривались следующие ряды: ряд 1(1) –  $n_1 = 61$  (1960-2020 гг., периоды годовые); 1(2) –  $n_1 = 61$  (1960-2020 гг., периоды V-VIII); 1(3) –  $n_1 = 61$  (1960-2020 гг., периоды V-VI); 2(1) –  $n_2 = 35$  (1994-2020 гг., периоды годовые); 2(2) –  $n_2 = 35$  (1994-2020 гг., периоды V-VIII); 2(3) –  $n_2 = 35$  (1994-2020 гг., периоды V-VI); 3(1) –  $n_3 = 16$  (2005-2020 гг., периоды годовые); 3(2) –  $n_3 = 16$  (2005-2020 гг., периоды V-VIII); 3(3) –  $n_3 = 16$  (2005-2020 гг., периоды V-VI).

Полученные рассчитанные численные значения  $F$  и  $t$  и табличные  $F^*$  и  $t^*$  (из соответствующих распределений) представлены в таблице 1.

Из данных таблицы следует, что в целом исходный ряд (1960-2020 гг.) является неоднородным. Следовательно, можно говорить о том, что этот ряд не обладает стационарностью относительно как годовых значений, так и выделенных внутригодовых значений температуры, в то время как ряды 2 и 3 являются однородными.

Аналогичный анализ однородности рядов был проведен относительно другого ключевого климатического фактора – осадков. Однако ввиду изменившейся в середине 60-х гг. прошлого века условий их измерения на метеостанциях ряды наблюдений использовались с 1968 г. На рисунке 2 представлены хронологические ряды осадков ( $X_i$ ) по годам ( $i$ ) на метеостанции

Таблица 1. Критерии однородности рядов наблюдений за температурой воздуха. Элиста  
Table 1. Criteria for the homogeneity of air temperature observation series. Elista

Ряды / Series	$F$	$F^*$	$t$	$t^*$	Оценка однородности Assessment of homogeneity
1(1) и 2(1)	2,13	1,67	3,74	1,8	<b>Критерии неоднородны по <math>F</math> и <math>t</math></b> Criteria of heterogeneity for $F$ and $t$
1(2) и 2(2)	1,45	1,67	2,83	1,8	<b>Критерии неоднородны по <math>t</math></b> Criteria of heterogeneity for $t$
1(3) и 2(3)	1,07	1,67	2,16	1,8	<b>Критерии неоднородны по <math>t</math></b> Criteria of heterogeneity for $t$
1(1) и 3(1)	2,78	2,15	4,87	2,4	<b>Критерии неоднородны по <math>F</math> и <math>t</math></b> Criteria of heterogeneity for $F$ and $t$
1(2) и 3(2)	2,02	2,15	4,96	2,4	<b>Критерии неоднородны по <math>t</math></b> Criteria of heterogeneity for $t$
1(3) и 3(3)	1,07	2,15	2,61	2,4	<b>Критерии неоднородны по <math>t</math></b> Criteria of heterogeneity for $t$
2(1) и 3(1)	1,31	2,26	0,91	2,09	<b>Критерии однородны</b> Criteria are homogenous
2(2) и 3(2)	1,39	2,26	0,83	2,09	<b>Критерии однородны</b> Criteria are homogenous
2(3) и 3(3)	1,07	2,26	1,01	2,09	<b>Критерии однородны</b> Criteria are homogenous

г. Элисты и их разностными интегральными кривыми  $R_i(X)$ .

В представленном варианте использованы ряды наблюдений относительно годовых значений: летних (V-VIII месяцы) и зимних (XII-IV месяцы).

Для анализа однородности наблюдаемых данных за осадками по критериям Фишера и Стьюдента рассматривались следующие ряды: ряд 1(1) –  $n_1 = 53$  (1968-2020 гг., периоды годовые), 1(2) –  $n_1 = 53$  (1968-2020 гг. периоды V-VIII); 1(3) –  $n_1 = 53$  (1968-2020 гг., периоды XII-III); 2(1) –  $n_2 = 34$  (1987-2020 гг., периоды

годовые); 2(2) –  $n_2 = 34$  (1987-2020 гг., периоды V-VIII); 2(3) –  $n_2 = 34$  (1987-2020 гг., периоды XII-III); 3(1) –  $n_3 = 20$  (2001-2020 гг., периоды годовые); 3(2) –  $n_3 = 20$  (2001-2020 гг., периоды V-VIII); 3(3) –  $n_3 = 20$  (2001-2020 гг., периоды XII-III).

Из данных таблицы можно заключить, что в целом ряды являются однородными. Однако исключение составляет сравнение годовых значений рядов и рядов зимних осадков при  $n = 53$  года и за последние  $n = 34$  года. При этом больше среднее значение сумм годовых осадков за последние 34 года.

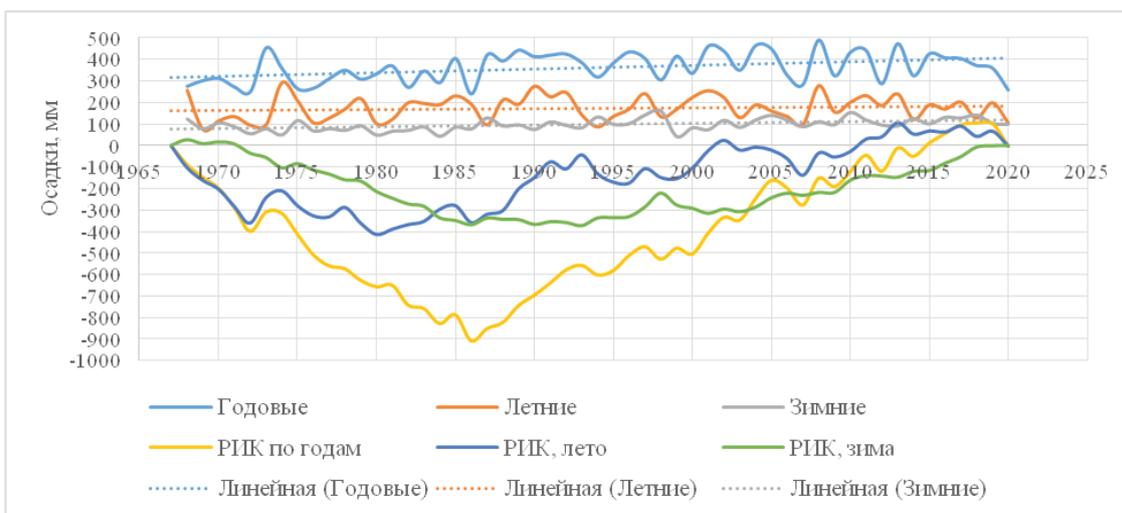


Рис. 2. Графики сумм осадков по многолетним рядам и их разностные интегральные кривые (РИК)

Fig. 2. Graphs of precipitation sums for multi-year series and their difference integral curves (DIC)

Таблица 2. Критерии однородности рядов наблюдений за осадками. Элиста

Table 2. Criteria for the homogeneity of precipitation observation series. Elista

Ряды / Series	$F$	$F^*$	$t$	$t^*$	Оценка однородности Assessment of homogeneity
1(1) и 2(1)	1,30	1,66	1,86	1,76	<b>Ряды не однородны по <math>t</math></b> The series are not homogenous for $t$
1(2) и 2(2)	1,16	1,66	0,86	1,76	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous
1(3) и 2(3)	1,22	1,66	1,80	1,76	<b>Ряды не однородны по <math>t</math></b> The series are not homogenous for $t$
1(1) и 3(1)	1,06	1,67	1,38	1,79	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous
1(2) и 3(2)	1,22	1,67	0,35	1,79	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous
1(3) и 3(3)	1,22	1,67	1,38	1,79	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous
2(1) и 3(1)	1,38	1,68	0,08	1,89	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous
2(2) и 3(2)	1,05	1,68	0,36	1,89	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous
2(3) и 3(3)	1,44	1,68	0,55	1,89	<b>Ряды однородны</b> The series are homogenous

Существенным элементом баланса рас­полагаемых водных ресурсов водохранилища в рассматриваемой природной зоне является испарение с водной поверхности. В рамках оценки этой составляющей баланса выполнялся расчет слоя дополнительных потерь водохранилища на испарение согласно требованиям [8, 9] для лет различной водности, обеспеченность которых оценивалась по обеспеченности годовых осадков  $t(P_x)$ , а обеспеченность испарения традиционно принималась как разность  $100\% - P_x$ . Слой испарения с водной поверхности при обеспеченностях  $P_x$  выше 90% достигал значений более 700 мм за безледоставный период. Слой потерь на фильтрацию, согласно произведенным расчетам, был незначительным, что объяснялось существенной кольматацией ложа за период функционирования гидроузла. Величина объема дополнительных потерь на испарение зависит и от размера площади акватории, следовательно, и от внутригодового режима наполнений водохранилища. Режим наполнений исследуемого водного объекта рассчитывался на основе уравнения водного баланса водоема относительно расчетного временного интервала (в данном случае это месяц):

$$V_K = V_H + W_P - U_{бр} - (S \text{ или } d), \quad (4)$$

где  $V_K$  – наполнение к окончанию временного интервала;  $V_H$  – наполнение к началу временного интервала;  $W_P$  – объем притока к водохранилищу за временной интервал;  $U_{бр}$  – водоотдача брутто для обеспечения животноводческих ферм, включающая в себя и суммарные дополнительные потери;  $S$  или  $d$  – объемы сбросных вод в нижний бьеф водохранилища ( $S$ ) или дефицит ( $d$ ) – недополученный объем воды водопользователем относительно плановой водоотдачи в зависимости от балансовой ситуации и правил регулирования стока водохранилищем.

Месячные величины стока 40-летнего ряда (1981-2020 гг.)  $W_P$  моделировались на основе данных реки-аналога Сал по хронологическим значениям обеспеченностей стока  $P_i$  (здесь  $i$  – хронологический номер года) и соответствующему календарному году – процентному внутригодовому распределению стока реки-аналога, а также по полученным параметрам стока (среднее, коэффициенты вариации и асимметрии) к исследуемому водохранилищу [9]. Моделирование наполнений водохранилища производилось по уравнению (4) и правилам регулирования стока диспетчерского графика, разработанного согласно методике [10].

Моделирование наполнений водохранилища производилось в первую очередь для маловодных лет с годовым стоком, близким к расчетной обеспеченности  $P = 90\%$  при самом

неблагоприятном условии того, что наполнение к началу водохозяйственного года соответствовало минимальному допустимому уровню. Исходя из результатов моделирования управления водохранилищем, отметим, что сокращение плановой водоотдачи нетто пришлось выполнять только в маловодные водохозяйственные 2001/2002 гг. ( $P = 95,1\%$ ) и 1997/98 ( $P = 97,6\%$ ). Это подтверждает правильность и целесообразность расчетов полученного диспетчерского графика.

Было также произведено моделирование управления водохранилищем в соответствии с полученным диспетчерским графиком по календарной последовательности водохозяйственных лет согласно полученному ранее гидрологическому ряду объемов притока. Исходя из результатов моделирования, необходимо подчеркнуть, что ни в одном водохозяйственном году не было зафиксировано ни одного месячного дефицитного периода, когда не была бы обеспечена запасом воды плановая водоотдача нетто, поскольку даже в маловодные годы необходимый дополнительный запас воды оставался из предыдущих лет к началу водохозяйственного года. Такой факт объясняется существенным понижением величин плановой водоотдачи нетто (только на водопой скота) в сравнении с первоначальным проектом обеспечения орошения территорий, которое на сегодняшний день отсутствует.

Заиление водохранилищ аридной зоны и, в частности, Ремонтненского, происходит довольно интенсивно. Они заведомо подвержены всем процессам образования твердого материала в водоемах: 1) поверхностный сток; 2) размыв берегов и дна; 3) продуцирование фитопланктона и высшей водной растительности; 4) физико-химические процессы в воде; 5) эоловые процессы. Относительно зафиксированной проектной отметки Нормального подпорного уровня (НПУ) полный объем Ремонтненского водохранилища 50 лет назад в процессе его наполнения составлял 13,4 млн м<sup>3</sup>. По результатам геодезической съемки, в процессе проведения промерных работ при выполнении исследований был установлен полный объем при том же НПУ в размере 7,35 млн м<sup>3</sup>, то есть заполнение водоема твердым веществом в среднем происходило со скоростью порядка 120 тыс. м<sup>3</sup>/год. Скорость переработки берегов существенно уменьшилась после первых лет работы гидроузла, тем не менее процесс продолжается. Общий прогноз таков, что уже через 30-40 лет сегодняшний объем при НПУ уменьшится по крайней мере вдвое, и тогда средняя глубина водохранилища будет составлять порядка 1 м.

**Результаты и их обсуждение.** В создавшихся социально-экономических условиях, при нехватке квалифицированных кадров для управления ирригационными водохранилищами и в целом для различного вида мелиораций на местах, представляется рациональным рассмотрение следующих возможностей: использование вахтового метода для обслуживания водохозяйственных и в целом мелиоративных объектов; проведение работы по распределению выпускников вузов на определенные сроки; создание онлайн-консультационных центров для рекомендаций по управлению водохранилищами и организации мелиоративных работ в целом.

Климатические изменения региона заключаются в первую очередь в чувствительном повышении температуры воздуха практически во все сезоны или в выбранные интервалы, что заведомо повышает испарение как с суши водосборов, так и с водной поверхности водных объектов. О значимых тенденциях понижения осадков в какие-либо интервалы года говорить не приходится. Более того, как годовые, так и зимние осадки в районе г. Элисты имеют значимую положительную тенденцию, что косвенно свидетельствует о возможности создания запаса воды в водохранилищах перед вегетационным периодом и о наличии некоторого резерва для орошения. Расхожее мнение о «наступлении пустыни» на регион, очевидно, больше касается понятия почвенной, а не климатической засухи. При этом необходимость орошения части территории выглядит вполне логичной. Повышение же сумм положительных температур в вегетационный период и расширение его во времени делают выбор орошаемых культур более широким.

Общее заиливание водохранилищ 3 класса в регионе грозит стать местной экологической катастрофой в ближайшие десятилетия. Если не использовать уменьшающую скорость заиливания методы регулирования стока и не изымать накопившиеся наносы, то через 20-40 лет возможны их существенная деградация и превращение в соляные озера.

Традиционные подходы к регулированию стока не подходят на сегодняшний день и на перспективу для эффективного использования водохранилищ 3 класса. Необходимость уменьшения испарения и заиливания водохранилища и очевидный дефицит воды для вариантов возвращения к орошению требуют новых подходов к управлению водохранилищами. В частности, резонно было бы пропускать начало подъема половодья, несущего наибольшее количество наносов,

транзитом в нижний бьеф, начиная формировать запас воды в полезном объеме несколько позже, поскольку при моделировании функционирования гидроузла было выявлено, что холостые сбросы после полного наполнения водохранилища имеются в 87,5% водохозяйственных лет при нормативной обеспеченности орошения пастбищ 75%. В данном случае вполне целесообразно и возможно учитывать гидрологические прогнозы на основе спутниковой информации. Особо следует отметить, что годовая водоотдача брутто примерно в 3 раза превышает водоотдачу нетто, и это свидетельствует о значительных потерях, в первую очередь – на испарение.

Особенно огромных величин испарение с водной поверхности достигает в летние месяцы: в июле и августе в течение отдельных суток слой потерь достигал 10 мм. Таким образом, если запасенную воду в водохранилище не потратить в мае и в начале июня на орошение, она уйдет на испарение, поскольку площади акватории остаются значительными – по крайней мере до июля включительно, а температура воздуха в летние месяцы возрастает.

Планирование основного объема водоотдачи на орошаемые территории является выгодным на май и июнь, поскольку в летние месяцы сохраненная вода уйдет на потери на испарение. Соответственно имеет смысл произвести выбор орошаемых пастбищных кормовых культур, воспринимающих влагу в указанный период, и одновременно из списка засухоустойчивых.

Безопасность гидротехнических сооружений водохранилищ должна контролироваться и регламентироваться декларацией их безопасности.

Проблема безопасности гидротехнических сооружений в последние десятилетия усугубилась с повышением экстремальных дождевых осадков, что характерно даже для аридных зон, где период летних осадков уменьшился [11-13], а также зафиксированными на метеостанции г. Элисты увеличением зимних осадков и повышением температуры. Это косвенно может повлиять на потенциальное увеличение запаса воды в снеге перед половодьем, а повышение температуры может привести к более быстрому стаиванию и к увеличению максимального расхода половодья. Однако далеко не все гидроузлы были отестированы декларацией безопасности, что не обеспечивает общие требования к безопасности жизнедеятельности. Основной причиной такой ситуации является нехватка финансовых средств у большинства формальных владельцев гидроузлов.

### Выводы

Необходимость и возможность восстановления ирригационных водохранилищ и самого орошения из них определяются рядом причин, факторов и тенденций, обусловленных совокупностью различных социальных, климатических, хозяйственных проявлений. Необходимость должного функционирования водохранилищ подтверждается требованиями декларации безопасности гидротехнических сооружений и экологическими требованиями к управляемым водным ресурсам.

В целях регулирования стока ирригационными водохранилищами в аридной зоне требуются специальные подходы к их оперативному управлению, отличающиеся от принятых способов по причинам как больших потерь на испарение, так и специфического режима водопользования и заиливания водоемов. Для оперативного

регулирования стока возможным является создание консультационных центров, осуществляющих онлайн-консультации для местных кадров.

Имеется необходимость исследовать вопрос об общем заиливании водохранилищ, о комплексной их гранулометрической, гидрохимической и гидробиологической оценке как о предпосылке к применению наряду с реальными видами удобрений и созданию биокомпостов, использование которых в свою очередь должно быть уточнено относительно почв региона и возможных орошаемых культур. Следует заметить, что игнорирование очистки водоемов рассматриваемой территории от наносов в ближайшие десятилетия приведет их к существенной деградации как объектов природообустройства и водопользования и может превратить их в соляные озера, которыми и без того изобилуют территории аридной зоны.

### Список использованных источников

1. **Золотокрылин А.Н.** Индикаторы аридности климата // Аридные экосистемы. 2002. Т. 8, № 16. С. 47-58.
2. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ.
3. **Дубенок Н.Н., Шумакова К.Б., Владимиров С.О.** Современные гидромелиоративные системы: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2023. 195 с.
4. **Шабанов В.В., Дубенок Н.Н.** Экосистемная мелиорация – источник инновационного развития // Наука в инновационном процессе: сборник материалов II Международной научно-практической конференции. М.: ИПРАН РАН, 2023. С. 213-219. ISBN 978-5-91294-185-6
5. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=5>
6. **Сикан А.В.** Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 278 с.
7. Statistical methods in the Atmospheric Sciences / Ed.R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby // Inter. Geoph. Series. 2011. Vol. 1. Oxford, OX51GB, UK. 668 p.
8. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов: Утв. приказом МПР РФ от 30 ноября 2007 г. № 314; зарег. в Минюсте РФ 29 декабря 2007 г. № 10861. М.: МПР РФ, 2007. 40 с.
9. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП33-101-2003. 2003. С. 71. URL: <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/sp-33-101-2003.pdf>.
10. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 254 с.
11. **Ilinich V.** Estimation of Statistical Characteristics for Storm Precipitation with Long-term Data to Assess Climate Change / Akulova E., Belchihina V. and Ponomarchuk K. // Journal of Climate Change. Vol. 2, No. 2 (2016). Pp. 83-87. DOI: 10.3233/JCC-160019.
12. **Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A.** Influence of Landscape and Climate Changes on the Maximum Discharge of Small Catchment Areas // Power Technology and Engineering. 2023. № 56 (5). Pp. 635-638.
13. **Zolina O.** New view on precipitation variability and extremes in Central Europe from

### References

1. **Zolotokrylin A.N.** Indicators of climate aridity // arid ecosystems. 2002, volume 8, No. 16. P. 47-58.
2. Federal Law No. 117-FZ dated 07/21/1997 "On the Safety of hydraulic structures" [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15265/?ysclid=lwv0ds3t9t689148799](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/?ysclid=lwv0ds3t9t689148799)
3. **Dubenok N.N., Shumakova K.B., Vladimirov S.O.** Modern hydro-reclamation systems. Textbook. Moscow: Publishing House-vooau-MSHA 2023. 195 P. ISBN: 978-5-9675-2008-2
4. **Shabanov V.V., Dubenok N.N.** Ecosystem land reclamation – a source of innovative development / collection of articles: science in the innovation process. Materials of the II International Scientific and Practical Conference. Moscow: IPAN RAS, 2023. P. 213-219. ISBN 978-5-91294-185-6
5. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=5>
6. **Sikan A.V.** Methods of statistical processing of hydrometeorological information. St. Petersburg: RGGMU, 2007. 278 p. ISBN 5-86813-029-4
7. Statistical methods in the Atmospheric Sciences / Ed.R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby // Inter. Geoph. Series. 2011. Vol. 1. – Oxford, OX51GB, UK. 668 p.
8. Methodology for calculating water management balances of water bodies", approved by Order of the Ministry of Justice of the Russian Federation dated 11/30/2007 No. 314 registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on 12/29/2007 No. 10861) Moscow: MPR RF, 2007. 40 p.
9. Determination of the main calculated hydrological characteristics. SP 33-101-2003. 2003, p. 71. <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/sp-33-101-2003.pdf>
10. **Kritsky S.N.** Water management calculations / S.N. Kritsky, M.F. Menkel. L.: Hydrometeoizdat, 1952. P. 254.
11. **Ilinich V.V.,** Estimation of Statistical Characteristics for Storm Precipitation with Long-term Data to Assess Climate Change / Akulova E., Belchihina V. and Ponomarchuk K. Journal of Climate Change, Vol. 2, No. 2 (2016). P. 83-87. DOI 10.3233/JCC-160019.

a German high resolution daily precipitation dataset: Results from STAMMEX project / Simmer C., Kapala A., Shabanov P., Becker P., Maechel H., Gulev S.K., Groisman P. // Bulletin of Amer. Met. Soc. 96. DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00134.1/

#### Об авторах

**Алексей Васильевич Перминов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами»; ORCID id 0000-0003-2848-1793; alexperminov@rgau-msha.ru

**Виталий Витальевич Ильинич**, канд. техн. наук, профессор; ORCID id 0000-0003-2094-2882; vilinitch@gmail.com

**Сергей Николаевич Редников**, д-р техн. наук, доцент; Scopus – 57170810400, SPIN-код – 6267-1900, AuthorID: 119444; srednikov@mail.ru

**Маков Роман Сергеевич**, магистр, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; r-makov2012@yandex.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Перминов А.В., Ильинич В.В., Редников С.Н., Маков Р.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 11.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 15.05.2024

12. **Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A.** Influence of Landscape and Climate Changes on the Maximum Discharge of Small Catchment Areas. Power Technology and Engineering, 2023, 56(5). P. 635-638

13. **Zolina O.** 2014: New view on precipitation variability and extremes in Central Europe from a German high resolution daily precipitation dataset: Results from STAMMEX project / C. Simmer, A. Kapala, P. Shabanov, P. Becker, H. Maechel, S.K. Gulev, P. Groisman Bulletin of Amer. Met. Soc., 96, doi: 10.1175/BAMS-D-12-00134.1/

#### About the authors

**Alexey V. Perminov**, CSc (Eng), associate professor of the department “Hydraulics, hydrology and management of water resources”; ORCID id 0000-0003-2848-1793; alexperminov@rgau-msha.ru

**Vitalij V. Ilinich**, CSc (Eng), professor; ORCID id 0000-0003-2094-2882; vilinitch@gmail.com

**Sergey N. Rednikov**, DSc (Eng), associate professor; Scopus – 57170810400, SPIN-code – 6267-1900, AuthorID: 119444; srednikov@mail.ru

**Roman S. Makov**, master, RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; r-makov2012@yandex.ru

Perminov A.V., Ilinich V.V., Rednikov S.N., Markov R.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>

УДК 551.435.627: 004.94:502.65



## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДАННЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.И. Кацко, С.И. Маций<sup>✉</sup>

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

**Аннотация.** Целью исследований являлась разработка методики моделирования и прогнозирования состояния оползня по результатам наблюдений, полученных в реальном режиме времени, с использованием автоматизированной системы мониторинга, включающей в себя геотехническое и геодезическое оборудование (поверхностные наклонометры, электрические трехмерные трещиномеры, датчики давления грунта, инклинометры). Объект исследований – реальные данные результатов геотехнического мониторинга при проведении работ по строительству и реконструкции подпорных стенок на автомобильной дороге А-147 Дзубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия, Краснодарский край, на участке км 195+310 – км 196+985. Традиционные методы изучения результатов мониторинга ограничиваются визуализацией наблюдений и расчетом описательных характеристик. Между тем наблюдения представляют собой временную последовательность, которая может быть рассмотрена с точки зрения теории стохастических временных рядов. Задача исследований заключалась в выявлении закономерностей развития оползневых процессов, чтобы актуализировать подход, опирающийся на данные. Полученные результаты анализа данных мониторинга оползневого склона позволяют сделать вывод о том, что наблюдения могут описываться моделями многомерных временных рядов (авторегрессии, скользящего среднего, авторегрессии скользящего среднего, авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего и векторной регрессии), которые могут использоваться для прогнозирования развития оползней и количественной оценки риска.

**Ключевые слова:** охрана земель, оползень, геотехнический мониторинг, временные ряды, оценка, модель

**Формат цитирования:** Кацко А.И., Маций С.И. Оценка состояния оползневого склона на основе анализа многомерных временных рядов данных геотехнического мониторинга // Природообустройство. 2024. № 3. С. 80-87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>

Original article

## ASSESSMENT OF THE STATE OF A LANDSLIDE SLOPE BASED ON THE ANALYSIS OF MULTIDIMENSIONAL TIME SERIES OF GEOTECHNICAL MONITORING DATA

A.I. Katsko, S.I. Matsiy<sup>✉</sup>

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia

**Abstract.** The purpose of the work is to develop a methodology for modeling and predicting the state of a landslide based on the results of observations obtained in real time using an automated monitoring system including geotechnical and geodetic equipment (surface tilt meters, electric three-dimensional fracture meters, soil pressure sensors, inclinometers). The object of the study is the real data of the results of geotechnical monitoring during the work on the “Construction and reconstruction of retaining walls on the A-147 Dzhubga- Sochi-border with the Republic of Abkhazia, Krasnodar Territory. On the section km 195+310 – km 196+985”. Traditional methods of studying monitoring results are limited to visualization of observations and calculation of descriptive characteristics, meanwhile, observations represent a time sequence that can be considered from the point of view of the theory of stochastic time series. The aim of the study was to identify patterns of landslide processes in order to update the data-based approach. The obtained results of the analysis of landslide slope monitoring data allow us to conclude that observations can be described by models of multidimensional time series (autoregressive, moving average, moving average autoregression, pro-integrated moving average autoregression and vector regression), which can be used to predict the development of landslides and quantify risk.

**Keywords:** land protection, landslide, geotechnical monitoring, time series, assessment, model

**Format of citation:** Katsko A.I., Matsiy S.I. Assessment of the state of a landslide slope based on the analysis of multidimensional time series of geotechnical monitoring data // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 80-87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>

**Введение.** Отсутствие регуляции естественного водного режима той или иной территории может проявляться в негативном действии воды на почву территории, что выражается в размыве почвы и появлении оползней. Хозяйственная деятельность человека требует тесного взаимодействия с природой, обустройства природных ландшафтов с учетом возведения природно-технических сооружений, что влечет необходимость исследования приемов защиты от оползней, в том числе возникающих в результате антропогенного воздействия человека на природу [1, 2]. Мероприятия для предупреждения этих явлений предполагают выполнение комплекса агротехнических, лесоводственных и водохозяйственных приемов, которые относят к мелиорации почв, в том числе для прилегающих автомобильных дорог, мостов, подпорных сооружений.

Активация оползневых процессов приводит к деформации подпорных сооружений и объектов инфраструктуры [3, 4]. Одной из основных задач природообустройства в настоящее время является надежная и рациональная эксплуатация земель различного назначения, которая в условиях ползучести грунта достигается благодаря использованию геотехнического мониторинга для разработки мер инженерной защиты.

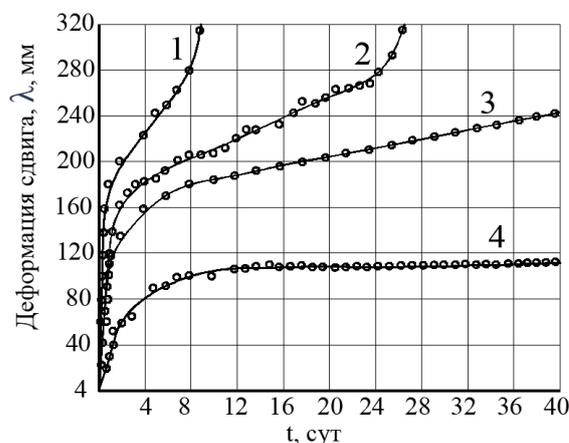
Одним из признаков технического совершенства мелиоративной системы является степень автоматизации, которая в настоящее время в России осуществляется недостаточными темпами. Инженерная защита агроландшафтов и гидромелиоративных сооружений предусматривает проведение инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, расчет коэффициента устойчивости склона, проектирование мероприятий противооползневой защиты и их дальнейшую эксплуатацию [2, 3].

Геотехнический мониторинг предполагает регулярные инструментальные наблюдения, позволяющие выявить неблагоприятные тенденции (развитие оползневого процесса) с последующим управлением ходом работ. Результаты автоматических измерений различных геотехнических параметров – таких, как давление грунта на стену, угол наклона стены, размер раскрытия трещин по стене, уровень грунтовых вод, сдвиг оползневого тела на определенной глубине, фиксируются в один момент времени, что приводит к пониманию многомерности данных (временных рядов).

Влияние отдельных изменений происходит не сразу, что требует введения лаговых переменных. Если подпорная стена возведена, то в качестве результирующей переменной можно выбрать давление на нее грунта, а в качестве факторных переменных – основные результаты мониторинга. Показания инклинометра на различной глубине описываются уравнениями векторной авторегрессии, позволяющими связать сдвиги на разных уровнях окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой [5-7].

В исследованиях основной задачей геотехнического мониторинга являлось изучение результатов измерений автоматизированного измерительного комплекса, способного производить мониторинг уровня режима закрытой мелиоративной сети, атмосферного давления и температуры.

Геотехнический мониторинг используется также для изучения явления ползучести грунта при строительстве и эксплуатации сооружений. Различают следующие типы ползучести (рис. 1): условно-мгновенная, затухающая или



**Рис. 1. Кривые ползучести при различных значениях касательного напряжения  $\tau$ , выраженных в долях сопротивляемости грунта сдвигу, и постоянной нагрузке (нормальной напряжении), представленных на кривых:**  
1 – при  $\tau = 0,55$ ; 2 – при  $\tau = 0,47$ ;  
3 – при  $\tau = 0,43$ ; 4 – при  $\tau = 0,40$

**Fig. 1. Creep curves at different values of shear stress  $\tau$ , expressed in fractions of soil shear resistance, and constant load (normal stress) presented on the curves:**  
1 – at  $\tau = 0.55$ ; 2 – at  $\tau = 0.47$ ;  
3 – at  $\tau = 0.43$ ; 4 – at  $\tau = 0.40$

неустановившаяся (кривая 4); протекающая с постоянной скоростью или установившаяся (кривая 3); переходящая в прогрессирующую (кривая 2); протекающая с возрастающей скоростью или прогрессирующая (кривая 1) [3, 8, 9].

**Анализ и прогнозирование временных рядов по результатам геотехнического мониторинга.** Характеристика исходных данных. В качестве объекта исследований рассматривалась работа с научным сопровождением на тему «Строительство и реконструкция подпорных стен на автомобильной дороге А-147 Дзубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия, Краснодарский край. На участке км 195+310 – км 196+985». Объект мониторинга был разделен на два участка (рис. 2).

Регистрация результатов мониторинга осуществлялась непрерывно каждые 20 мин в период на протяжении 4 мес. Результаты мониторинга были представлены в виде графиков раскрытия деформационных швов, отклонений от вертикали сооружений и инклинометрических обсадных труб. В качестве объекта исследований рассматривался участок 1 (рис. 2,3).

В ходе мониторинга было рассмотрено 6848 наблюдений за объектами в описанных выше

точках. Наше изложение опирается на использование статистического пакета *GRETL* [1].

Геологические, климатические характеристики и результаты мониторинга обычно задаются в хронологическом порядке, что позволяет говорить о возможности рассмотрения их в качестве временных рядов [2, 6, 8, 10-13].

Временной ряд – это расположенная в хронологическом порядке последовательность наблюдений за некоторым явлением, характер которого меняется со временем:

$$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_t. \quad (1)$$

В нашем изложении основным является стохастический подход, предполагающий случайную природу оползневого процесса, генерирующего временной ряд. Для описания взаимовлияния показателей временных рядов используются модели векторной авторегрессии (*VAR*). Использование модели векторной авторегрессии опирается на свойство коинтеграции нескольких временных рядов, предполагающей существование некоторой их стационарной линейной комбинации [10, 11].

Измерения проводились в 6 группах (точках) (I-VI). Использовались: наклонометры,

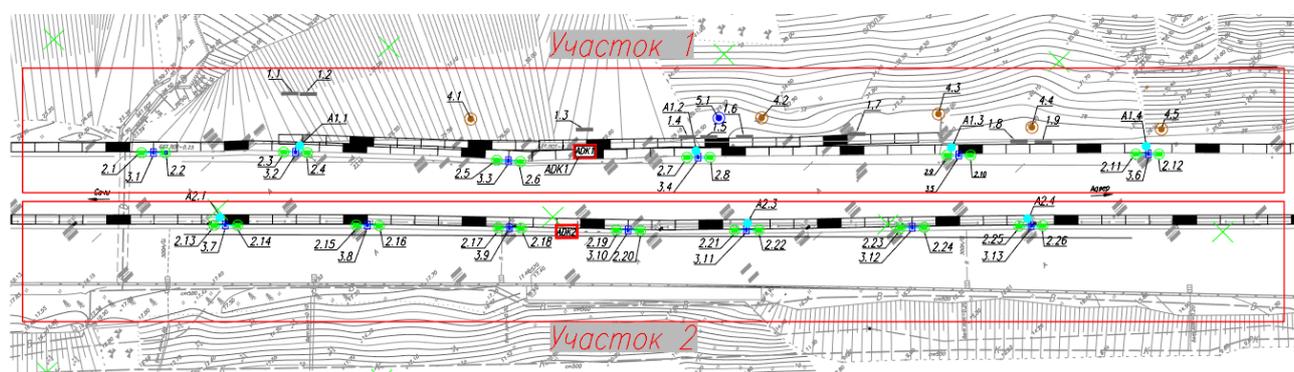


Рис. 2. Условное разделение объекта мониторинга на участки: участок 1 – низовая подпорная стена; участок 2 – верховая подпорная стена

Fig. 2. Conditional division of the monitored object into sections  
Section 1 – lower retaining wall; Section 2 – upper retaining wall

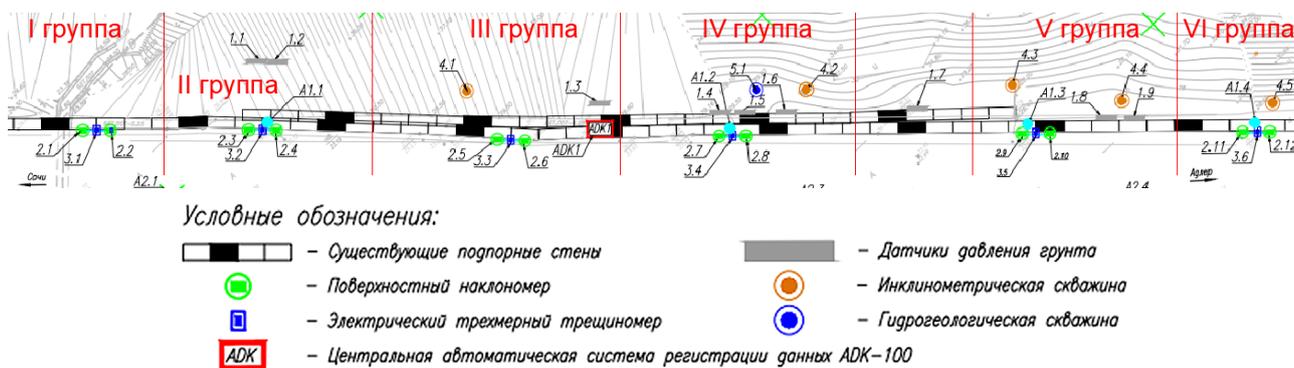


Рис. 3. Разделение объекта мониторинга на группы (точки)

Fig. 3. Division of the monitored object into groups (points)

трещиномеры (точки I, VI); датчики давления, наклономеры, трещиномеры (точка II); инклинометры, датчики давления, наклономеры, трещиномеры (точки III-V) (рис. 3). При использовании данных по трещиномерам и инклинометрам рассматривался итоговый общий вектор.

Рассмотрим третью группу наблюдений, так как именно с нее начинается изучение показаний инклинометров (рис. 4).

Рассмотрим для группы III расширенный тест Дики-Фуллера с константой на наличие единичного корня. Нулевая гипотеза –  $H_0 : a = 1$ , альтернативная гипотеза  $H_1$  : ряд стационарен (табл. 1).

Для проверки гипотезы коинтеграции в третьей группе были выбраны нестационарные временные ряды  $g_{431}$  (датчик давления),  $ab11$  (инклинометр на глубине 24 м),  $ab13$  (инклинометр на глубине 16 м), для которых была принята гипотеза единичного корня (рис. 5). В результате выявлено, что гипотеза единичного корня не отвергается для отдельных переменных и отвергается для остатков. Это говорит о наличии оползневой процесса, от которого

зависят указанные переменные. Первые разности указанных выше измерений подтверждают стационарность, поэтому их модели могут быть описаны в виде  $ARIMA(p, 1, q)$ , а остальные временные ряды в точке 3 могут быть описаны моделью  $ARMA(p, q)$  (табл. 2).

Рассмотрим построение модели  $VAR$ , в которой, согласно критерию Шварца, максимальный порядок лага составляет 2. Для примера рассмотрим только две переменные:  $ab14, ab15$ :

$$ab14_t = 0,121^{***} + 0,347^{***} ab14_{t-1} + 0,271^{***} ab14_{t-2} + 0,029^{***} ab15_{t-1} - 0,022^{**} ab15_{t-2}$$

$$ab15_t = 0,065^{***} + 0,345^{***} ab14_{t-1} - 0,040^{***} ab14_{t-2} + 0,474^{***} ab15_{t-1} - 0,445^{***} ab15_{t-2} \text{ м.} \quad (2)$$

На рисунках 6, 7 представлены графики импульсного отклика влияния одной переменной на другую в модели  $VAR$ . Практически на всех графиках всплеск от импульса достигает максимума в 5-10 временных периодах и далее стабилизируется. Следовательно, максимальный сдвиг происходит в первые 2-3 ч после импульса на одном из уровней, отмеченных инклинометром.

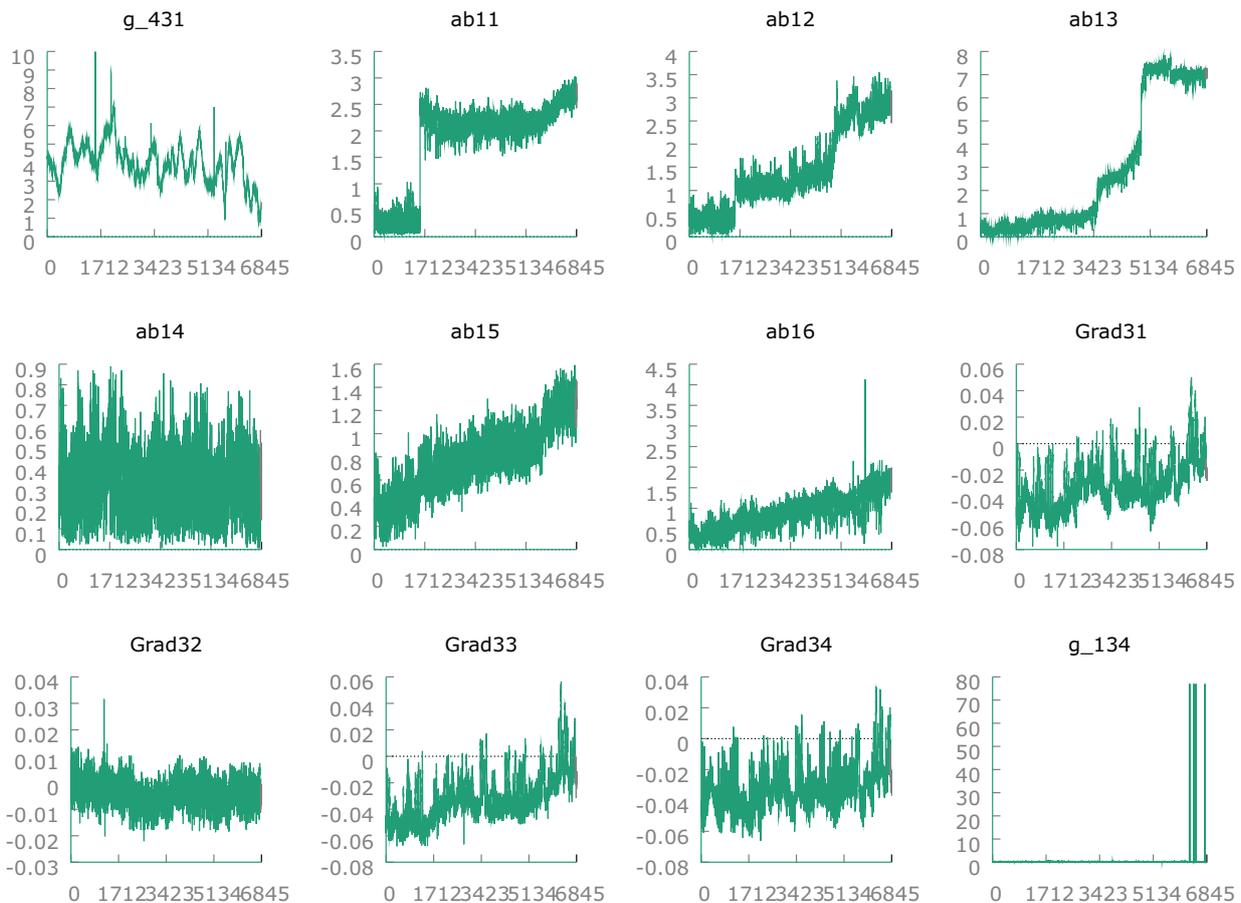


Рис. 4. Графики изменения показаний датчика давления, инклинометрических измерений, наклономера и трещиномера в точке 3

Fig. 4. Graphs of changes in the readings of the pressure sensor, inclinometric measurements, inclinometer and crack meter at point 3

Таблица 1. Расширенный тест Дики – Фуллера для III группы

Table 1. Extended Dickey-Fuller test for group III

Временной ряд <i>Time series</i>	р-значение для текущего уровня переменной <i>p-value for the current level of the variable</i>	р-значение для первой разности переменной <i>p-value for the first difference of the variable</i>	Нулевая гипотеза $H_0 : a = 1$ , принимается <i>Null hypothesis <math>H_0 : a = 1</math>, accepted</i>	
			для текущего уровня переменной <i>for the current level of the variable</i>	для первой разности переменной <i>for the first difference of the variable</i>
g_431	0,00573	4,59e-52	да	нет
ab11	0,2585	1,277e-49	да	нет
ab12	0,0004294	5,658e-89	нет	нет
ab13	0,9568	9,069e-49	да	нет
ab14	4,728e-18	1,839e-50	нет	нет
ab15	2,844e-06	3,334e-81	нет	нет
ab16	3,271e-33	8,469e-79	нет	нет
Grad31	1,642e-22	8,58e-83	нет	нет
Grad32	2,494e-10	7,018e-52	нет	нет
Grad33	8,331e-20	2,638e-82	нет	нет
Grad34	1,915e-25	8,078e-79	нет	нет
g_134	3,634e-40	1,884e-50	нет	нет

Коинтеграционная регрессия –  
МНК, использованы наблюдения 1-6848  
Зависимая переменная: g\_431

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	р-значение	
const	4.38657	0.0279043	157.2	0.0000	***
ab11	0.0389751	0.0170527	2.286	0.0223	**
ab13	-0.169124	0.00503986	-33.56	1.07e-228	***

Среднее завис. перемен 3.964992 Ст. откл. завис. перемен 1.072765  
Сумма кв. остатков 6443.393 Ст. ошибка модели 0.970221  
R-квадрат 0.182280 Исправ. R-квадрат 0.182041  
Лог. правдоподобие -9508.365 Крит. Акаике 19022.73  
Крит. Шварца 19043.22 Крит. Хеннана-Куинна 19029.80  
параметр rho 0.997204 Стат. Дарбина-Уотсона 0.005899  
обратите внимание на сокращенные обозначения статистики

Шаг 2: тестирование единичного корня для uhat

Расширенный тест Дики-Фуллера для uhat  
включая один лаг для (1-L)uhat  
объем выборки 6846  
нулевая гипотеза единичного корня: a = 1

тест без константы  
модель: (1-L)y = (a-1)\*y(-1) + ... + e  
оценка для (a - 1): -0.00405291  
тестовая статистика: tau\_c(3) = -4.77072  
асимпт. р-значение 0.001856

Рис. 5. Тест на коинтеграцию для ряда g\_431 (GRETl)

Fig. 5. Cointegration test for a series of g\_431 (GRETl)

Таким образом, проведенный анализ позволяет заключить, что оползневые процессы, описываемые временными рядами в точке 3, описывают неустойчивую (затухающую) ползучесть.

Аналогично рассмотрев в порядке возрастания порядкового номера групп, представим выводы по каждой из них: I группа – существует оползневой процесс; II группа – неустойчивая ползучесть; IV группа – затухающая

ползучесть; V группа – затухающая ползучесть; VI группа – существует оползневой процесс.

**Методика анализа, прогнозирования и оценки риска по результатам мониторинга.** Данные, полученные по результатам геотехнического мониторинга, представляют собой многомерные временные ряды, которые имеют большой объем. Из трех основных фаз работы деформации основания сооружений вследствие ползучести глинистых грунтов (осадка, горизонтальное смещение, движение грунта по склону в сторону подпорной стены), в исследованиях рассмотрены изучение и прогнозирование оползневых процессов по склону во времени.

Результаты описания теории временных рядов и их использование на модельной задаче (было проанализировано более 150 временных рядов, в том числе более 90 – по результатам измерений инклинометров) позволили прийти к выводу о том, что неустойчивая (затухающая) ползучесть без риска перехода в установившуюся или прогрессирующую может идентифицироваться на основании данных мониторинга с использованием моделей стационарных временных рядов или сводящихся к ним (ARMA, ARIMA, VAR) [11, 12, 14].

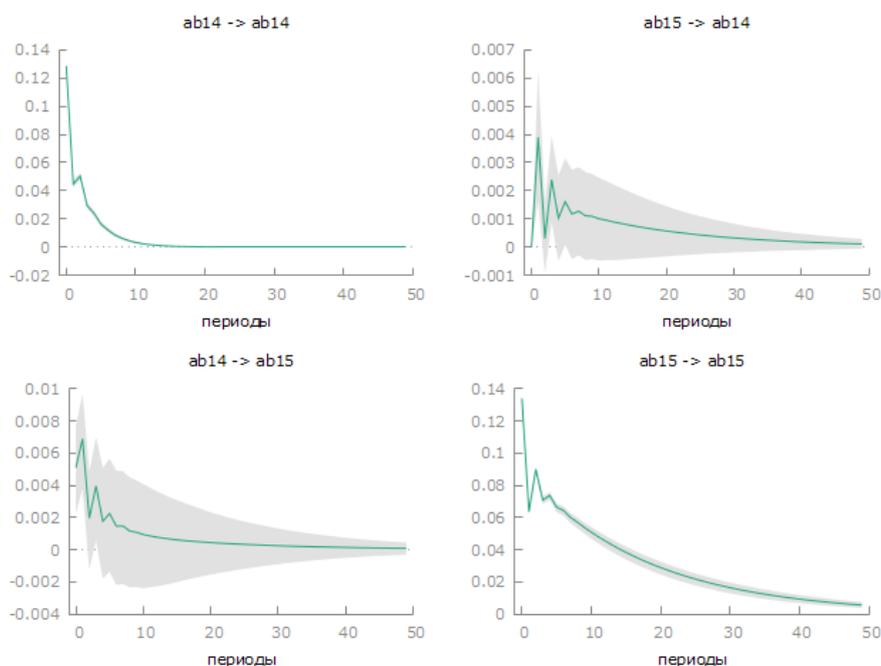
Предлагаемая методика изучения данных мониторинга заключается в выполнении изложенной ниже последовательности шагов.

1. Для имеющихся данных в виде временных рядов построим графики. Визуально по виду графика определяем, присутствует ли явный тренд, похож ли ряд на стационарный.

Таблица 2. Стохастические модели временных рядов в точке 3

Table 2. Stochastic time series models at point 3

Временной ряд	Модель	$R^2$
g_431	$\Delta^1 y_t = -0,0004 + 1,690^{***} y_{t-1} - 0,743^{***} y_{t-2} - 1,254^{***} \varepsilon_{t-1} + 0,337^{***} \varepsilon_{t-2}$	0,997
ab11	$\Delta^1 y_t = -0,0004 - 0,014^{***} y_{t-1} - 0,009^{***} y_{t-2} - 0,631^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,972
ab12	$y_t = 1,453^{***} + 0,984^{***} y_t$	0,582
ab13	$\Delta^1 y_t = -0,0001 - 0,533^{***} y_{t-1} - 0,236^{***} y_{t-2}$	0,420
ab14	$y_t = 0,029^{***} + 0,913^{***} y_{t-1} - 0,638^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,314
ab15	$y_t = 0,001^{***} + 0,999^{***} y_{t-1} - 0,896^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,723
ab16	$y_t = 0,908^{***} + 0,892^{***} y_{t-1}$	0,796
Grad31	$y_t = -0,032^{***} + 0,983^{***} y_{t-1} - 0,411^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,905
Grad32	$y_t = -0,004^{***} + 0,955^{***} y_{t-1} - 0,767^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,289
Grad33	$y_t = -0,032^{***} + 0,932^{***} y_{t-1}$	0,869
Grad34	$y_t = -0,032^{***} + 0,915^{***} y_{t-1}$	0,838
g_134	$y_t = 0,543^{***} + 0,615^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,51

Рис. 6. Отклик на импульс размером в одну стандартную ошибку (статистический пакет GRETL):  $ab_{ij}$  – общий вектор изменения ( $i$  – номер скважины,  $j$  – глубина)Fig. 6. Pulse response of one standard error (GRETL statistical package)  $ab_{ij}$  is the general vector of change ( $i$  is the well number,  $j$  is the depth)

Определяем, позволяют ли взятие разности, преобразование данных (логарифмирование, извлечение квадратного корня и др.) получить ряд, близкий к стационарному.

2. Для статистической проверки ряда на стационарность (первоначального или преобразованного) проводим расширенный тест Дики-Фуллера на наличие единичного корня в характеристическом уравнении процесса (для исходного ряда или после взятия разности первого порядка).

3. Отклонение гипотезы о наличии единичного корня позволяет утверждать существование для изучаемого процесса автокорреляционной и частной автокорреляционной функции. По результатам изучения АКФ и ЧАКФ для исходного ряда или ряда первых разностей определяем вид процесса *ARMA*.

С использованием полученных результатов для одномерных временных рядов осуществляем прогноз. Если изучаемые временные ряды стационарны и существуют предположения об их

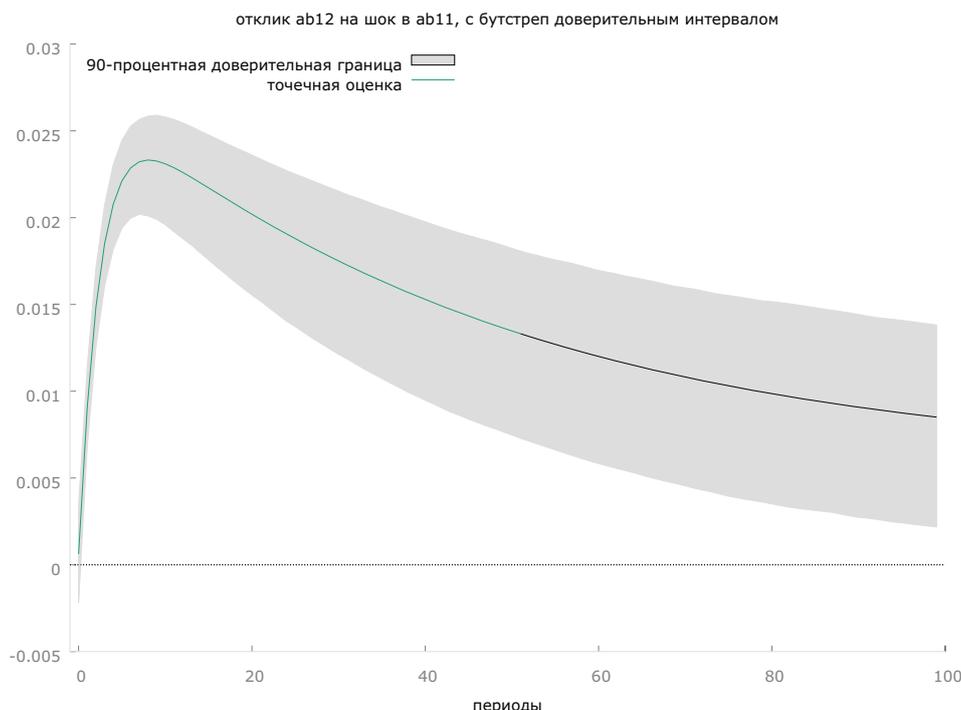


Рис. 7. Отклик на шок размером в одну стандартную ошибку в ab11 для ab12 (статистический пакет GRETЛ)

Fig. 7. Shock response of one standard error in ab11 for ab12 (GRETЛ statistical package)

взаимосвязи, то можно оценить векторную модель авторегрессии – VAR.

4. *Коинтеграция.* В случае нестационарности временных рядов, если они генерируются одним случайным процессом, возможно, их разность может быть стационарным процессом. Для проверки этой гипотезы используют тесты Йохансена и Энгла-Грэнжера.

5. Определяем лаг VAR-модели, опираясь на информационный критерий Шварца.

6. Оцениваем VAR-модель, переменные которой имеют один порядок интегрирования:

а) если переменные стационарны  $I(d = 0)$ , то строится VAR модель;

б) если переменные нестационарны  $I(d = 1, 2)$ , то возможны два случая:

– переменные коинтегрированы, и тогда строится векторная модель коррекции ошибок (VECM);

– переменные некоинтегрированы, тогда для достижения стационарности берутся разности  $d = 1, 2$ , и в случае отличной от нуля дисперсии строится VAR-модель.

7. На основе использования модели VAR строятся прогнозы и графики импульсных откликов.

### Выводы

Надежная и рациональная эксплуатация противоэрозионных, противооползневых,

водоотводящих систем требует организации наблюдений за грунтовыми природоохранными сооружениями. При проведении геотехнического мониторинга для анализа и прогнозирования оползневых процессов рекомендуется использовать подход, опирающийся на данные, который дополняет возможности традиционных методов визуализации и описательной статистики, позволяя учитывать с использованием наблюдений во времени свойства и характеристики конкретного объекта.

Информация о состоянии изучаемого объекта и результаты прогноза его динамики являются основой для разработки мер защиты. Изучение временных рядов, полученных по результатам мониторинга, показало, что они (или разности) описываются моделями стохастических процессов (авторегрессии, скользящего среднего, авторегрессии скользящего среднего, авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего, векторной регрессии). При опоре на результаты исследования предложена методика анализа, прогнозирования и оценки риска по результатам геотехнического мониторинга, включающая в себя использование указанных выше методов анализа временных рядов для выявления закономерностей ползучести грунтов и их прогнозирования с помощью импульсного моделирования.

## Список использованных источников

1. **Базавлук В.А.** Инженерное обустройство территорий. Мелиорация: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2020. 139 с.
2. **Ильичев В.А., Мангушев Р.А.** Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Изд-во АСВ, 2016. 1040 с.
3. **Маций С.И.** Противооползневая защита: монография. Краснодар: АлВидизайн, 2010. 288 с.
4. **Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.** Эрозия и охрана почв: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2021. 387 с.
5. **Маслов Н.Н.** Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 511 с.
6. **Нильсен Э.** Практический анализ временных рядов: прогнозирование со статистикой и машинное обучение. СПб.: Диалектика, 2021. 544 с.
7. **Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е.** Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 300 с.
8. **Гребнев Ю.С.** Инженерная защита от опасных геологических процессов. Руководство по расчету и проектированию противооползневых мероприятий. М.: GEOS, 2008. 274 с.
9. **Маслов Н.Н.** Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительстве. М.: Стройиздат, 1984. 176 с.
10. **Брантон С.Л., Куц Дж.Н.** Анализ данных в науке и технике. М.: ДМК Пресс, 2021. 542 с.
11. **Бокс Дж., Дженкинс Г.** Анализ временных рядов, прогноз и управление: Пер. с англ. / Под ред. В.Ф. Писаренко. Кн. 1. М.: Мир, 1974. 406 с.
12. **Васьюк И.М.** Крупномасштабные обвалы: геодинамика и прогноз. Владикавказ: ООО «Издательство ТРИУМФ», 2019. 365 с.
13. **Елисеева И.И.** Эконометрика: учебник для магистров. М.: Юрайт, 2014. 453 с.
14. **Бабешко Л.О.** Особенности построения и диагностики VAR-моделей в *GRET* // *Фундаментальные исследования*. 2022. № 3. С. 29-35.

## Об авторах

**Александр Игоревич Кацко**, магистрант; sa\_katsko@bk.ru

**Сергей Иосифович Маций**, д-р техн. наук, профессор; matsiy@mail.ru

## Критерии авторства / Criteria of authorship

Кацко А.И., Маций С.И. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

## Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 15.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

## References

1. **Bazavluk V.A.** Engineering arrangement of territories. Land reclamation: a textbook for universities. Moscow: Yurait Publishing House, 2020. 139p.
2. **Ilyichev V.A., Mangushev R.A.** Handbook of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures: second edition, supplemented and revised. Moscow: Publishing House of the DIA, 2016. 1040 p.
3. **Mansii S.I.** Landslide protection: a monograph. Krasnodar: AlVidesign, 2010. 288p.
4. **Kuznetsov M.S., Glazunov G.P.** Erosion and soil protection: textbook for universities – 3rd ed., corrected and additional M.: Yurait Publishing House, 2021. 387p.
5. **Maslov N.N.** Fundamentals of engineering geology and soil mechanics: textbook for universities. Moscow: Higher School, 1982. 511p.
6. **Nielsen E.** Practical analysis of time series: forecasting with statistics and machine learning. St. Petersburg: Dialectics, 2021. 544p.
7. **Kuznetsov E.V., Khadjidi A.E.** Agricultural land reclamation complex for sustainable development of agricultural landscapes: a textbook. – St. Petersburg: Publishing house “Lan”, 2018. 300p.
8. **Grebnev Yu.S.** Engineering protection from dangerous geological processes. Guidelines for the calculation and design of landslide measures. M.: GEOS, 2008. 274p.
9. **Maslov N.N.** Physico-technical theory of creep of clay soils in construction practice. M.: Stroyizdat, 1984. 176p.
10. **Brunton S.L., Kutz J.N.** Data analysis in science and technology. Moscow: DMK Press, 2021. 542p.
11. **Box J., Jenkins G.** Time series analysis, forecasting and management: Translated from English // Edited by V.F. Pisarenko. – M.: Mir, 1974, book 1. – 406 p.
12. **Vaskov I.M.** Large-scale collapses: geodynamics and forecast. Vladikavkaz: 2019. Publishing house TRIUMPH Publishing House, 365 p.
13. **Eliseeva I.I.** Econometrics: textbook for masters / M.: Yurait, 2014. 453p.
14. **Babeshko L.O.** Features of construction and diagnostics of VAR models in *GRET* // *Fundamental Research*, 2022, No. 3. P. 29-35.

## About the authors

**Alexander I. Katsko**, master's student; sa\_katsko@bk.ru  
**Sergey I. Matsiy**, DSc (Tech), professor; matsiy@mail.ru

Katsko A.I., Matsiy S.I. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-88-93>

УДК 551.311.21



## РАСЧЕТ ТВЕРДОГО СТОКА РЕКИ ЧЕГЕМ В РАЙОНЕ КАРЬЕРА НИЖЕ С.П. ЧЕГЕМ ВТОРОЙ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

Л.Б. Чигирова

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2, Россия

**Аннотация.** Цель работы – исследование русла р. Чегем для оценки возможности русловой добычи аллювиальных пород с учетом гидрологического, руслового режима и определение допустимых объемов добычи песчано-гравийных материалов с минимальным негативным воздействием на природный комплекс. Для решения поставленных задач в мае 2023 г. были проведены натурные обследования русла р. Чегем ниже с.п. Чегем Второй. Проанализированы результаты обследования, имеющаяся информация по исследуемой теме и архивные материалы по гидрологическим и геоморфологическим характеристикам р. Чегем. Проведены расчеты по определению морфометрических и гидрологических параметров р. Чегем, в том числе расход воды дождевого паводка 1%-ной обеспеченности, а также объема твердого стока русла реки в районе руслового карьера. Установлено, что объем среднегодового твердого стока в русле р. Чегем зависит от паводкового режима. По результатам исследований рассчитана среднегодовая допустимая величина добычи песчано-гравийных материалов в зависимости от паводкового режима с минимизацией негативного воздействия на русловые процессы реки. Сделан вывод о необходимости проведения периодического мониторинга с целью получения актуальных гидроморфометрических данных о состоянии р. Чегем.

**Ключевые слова:** русловой режим, р. Чегем, песчано-галечниковый материал, твердый сток, гидроморфометрические параметры, максимальный расход воды, максимальный расход селевого паводка

**Формат цитирования:** Чигирова Л.Б. Расчет твердого стока р. Чегем в районе карьера ниже с.п. Чегем Второй (Кабардино-Балкарская Республика) // Природообустройство. 2024. № 3. С. 88-93. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-88-93>

Original article

## CALCULATION OF SOLID RUNOFF OF THE CHEGEM RIVER IN THE AREA OF THE QUARRY DOWNSTREAM OF THE VILLAGE OF CHEGEM VTOROY (KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC)

L.B. Chigirova

<sup>1</sup> FSBI "High-Mountain Geophysical Institute", 360030, Nalchik, Lenina prospect, 2, Russia

**Abstract.** The purpose of the work- is to study the channel of the Chegem River to assess the possibility of channel mining of alluvial rocks taking into account the hydrological, channel regime and to determine the permissible volumes of sand and gravel mining with minimal negative impact on the natural complex. In order to solve the set tasks, in May 2023, field surveys of the Chegem River bed, downstream of Chegem Vtoroy settlement, were conducted. The survey results, available information on the topic under study and archival materials on hydrological and geomorphological characteristics of the Chegem River were analyzed. Calculations were made to determine the morphometric and hydrological parameters of the Chegem River, including the water discharge of a 1% rainfall flood, as well as the volume of solid runoff of the river bed in the area of the channel quarry. It was found that the volume of average annual solid runoff in the Chegem River channel depends on the flood regime. Based on the results of the study calculated the average annual allowable amount of sand and gravel extraction depending on the flood regime to minimize the negative impact on the river channel processes. It is concluded that it is necessary to conduct periodic monitoring in order to obtain relevant hydromorphometric data on the state of the Chegem River.

**Keywords:** channel regime, Chegem River, sand and gravel materials, solid runoff, hydromorphometric parameters, maximum water discharge, maximum discharge of mudflow flood

**Format of citation:** Chigirova L.B. Calculation of solid runoff of the Chegem River in the area of the quarry below the village Chegem Vtoroy (Kabardino-Balkar Republic) // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. . 3. P. 88-93. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-88-93>

**Введение.** Песчано-гравийные материалы (ПГМ) – разновидность строительного материала, имеющего нерудное происхождение. Добывают их на дне водоемов или в глубоких карьерах. Песчано-гравийные материалы легко разрабатываются тяжелой техникой и требуют меньшей обработки в отличие от других строительных материалов. В промышленных масштабах они добываются из русел рек, участков поймы и террас. Однако нерегламентированная выборка ПГМ, особенно если речь идет о русловых и пойменных карьерах, приводит к деформации русла.

Изменение русловых процессов при добыче аллювиальных песчано-гравийных материалов зависит от местоположения карьера, количества добываемого материала, технологии добычи, а также от размеров и гидрологического режима реки и т.д.

Нарушение русла не ограничивается лишь самим карьером, так как русло и пойма – постоянно меняющаяся среда, в которой нарушения гидравлики потока и морфологии русла могут распространяться далеко вверх и вниз от места их возникновения. Исследование направленности и темпов развития последствий добычи аллювиальных ПГМ является актуальным с точки зрения перспектив как восстановления рек, так и обеспечения народного хозяйства строительными материалами [1].

Главным в определении допустимой величины безвозвратного изъятия ПГМ из русла реки является то, что суммарный ежегодный объем добычи из отдельного руслового карьера не должен превышать величины годового стока руслообразующих наносов на данном участке реки. Негативные последствия для русла являются минимальными в том случае, когда карьер заносится в течение 1-2 лет [2]. Примером может послужить случай чрезмерной добычи аллювия в карьере, размещенном в русле р. Баксан. Деформация русла привела к тому, что левый берег реки в 2016 г. был размыв паводковыми водами. В результате в с.п. Благовещенка было затоплено 212 домовладений, в которых проживал 721 чел., а также затоплено 2112 га сельхозугодий (из данных ГУ МЧС России по КБР).

Горные реки Северного Кавказа отличаются бурными потоками, способными перемещать

значительное количество рыхлообломочного материала. Высокая транспортирующая энергия горных рек, обусловленная большим уклоном русла, создает благоприятные условия для переноса взвешенного и перекатываемого по дну материала к ее устью [3].

**Цель исследований:** изучение морфометрических и гидрологических характеристик р. Чегем для определения допустимого объема добычи песчано-гравийных материалов с минимизацией их неблагоприятного воздействия на природный комплекс реки.

Река Чегем берет свое начало с ледника Башиль в районе вершин Адырсубаши (4342 м), Тихтенген (4613 м) и Салынгантау (4510 м) [4]. Самым большим притоком р. Чегем является р. Гара-Аузусу. Общая длина реки составляет 103 км, площадь водосбора – км<sup>2</sup>; средний уклон реки – 36°. Река имеет смешанное питание: снеговое, ледниковое, подземное.

Река Чегем в верховьях течет в узком ущелье шириной 40-50 м. Ниже долина расширяется до 1 км и имеет U-образную форму – это Нижнечегемская внутриворонная котловина, в которой и расположено с.п. Нижний Чегем. В 1,5 км, ниже с.п. Нижний Чегем, долина сужается до 500 м и вновь расширяется в районе с.п. Лечинкай, где заканчивается горный участок бассейна и начинается равнинный до самого устья.

На равнинном участке ширина долины составляет 2-4 км в районе с.п. Лечинкай и 4-6 км ниже с.п. Чегем Второй. Уклон на участке изменяется от 10° в верхней части до 2° – в нижней. От с.п. Лечинкай река разделяется на ряд рукавов, в русле много островов длиной до 500 м и шириной 100-200 м, ширина поймы достигает 500 м (по данным КБ ЦГМС).

В мае 2023 г. были проведены натурные исследования русла р. Чегем ниже с.п. Чегем Второй в районе карьера по добыче ПГМ. Результаты обследования показали, что для добычи грунтового материала в русле р. Чегем работы ведутся на трех участках, которые работают периодически: после окончания добычи грунта на одном карьере работы переносятся в другой. Это приводит к постоянному перераспределению грунтового материала в русле реки. Изменения руслового режима р. Чегем в результате работы

карьера ПГМ с 2020 по 2022 гг. отчетливо отражены на рисунке 1.

Район обследования – карьер в русле р. Чегем по выборке песчано-гравийных материалов (рис. 2). Разработка карьера на данном участке р. Чегем началась в 2017 г. Исследования включали в себя тахеометрическую съемку с промерами русла и определением гидрологических параметров потока реки. По данным, полученным в ходе натурных исследований, было произведено расчетное определение количества выносимых рекой песчано-гравийных материалов в зоне отложения – ниже с.п. Чегем Второй. Данные расчеты позволяют проводить выборку аллювиальных пород (песок, песчано-гравийная смесь, гравий и галька) в русле реки без ущерба для природно-руслового комплекса. Выборка слишком большого или недостаточного объема может привести к значительной деформации русла с последующими негативными последствиями: размыву и обрушению береговых откосов, повышению уровня русла, выходу реки за пределы поймы и затоплению прибрежной территории.

#### Материалы и методы исследований.

Исходными данными являются натурные обследования авторов русла р. Чегем, выполненные в мае 2023 г., включающие в себя морфометрические и гидрологические работы. Источником информации послужили данные Кадастра селевой опасности Юга Европейской части России [5], а также анализ архивных материалов ФГБУ ВГИ, КБ ЦГМС и космоснимков.

**Результаты и их обсуждение.** На реках Кабардино-Балкарской Республики по выемке

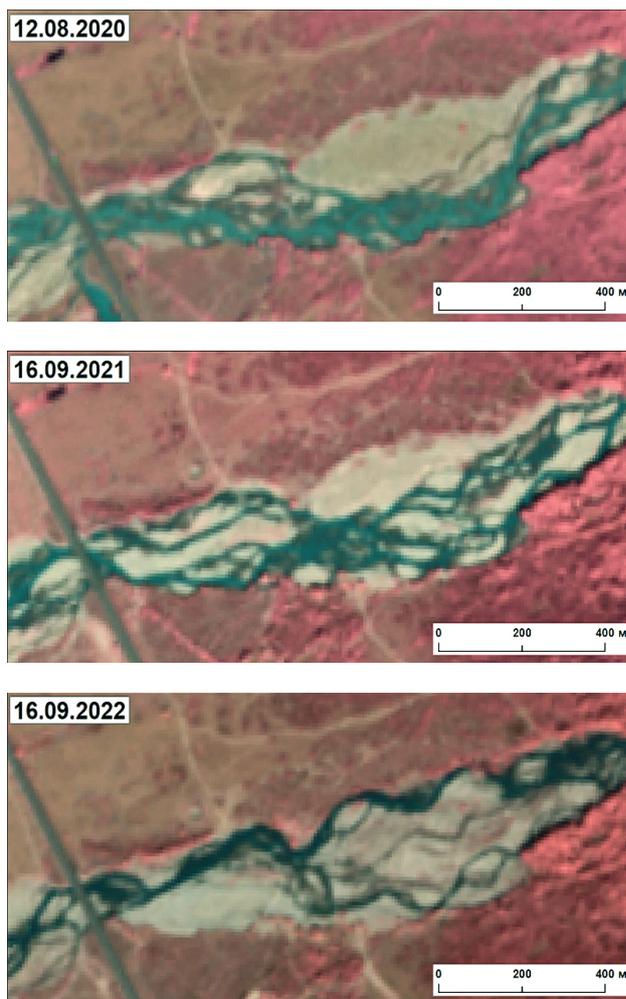


Рис. 1. Изменения руслового режима р. Чегем в районе карьера (космоснимки)

Fig. 1. Changes in the river bed regime of the Chegem River in the quarry area (space images, <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>)

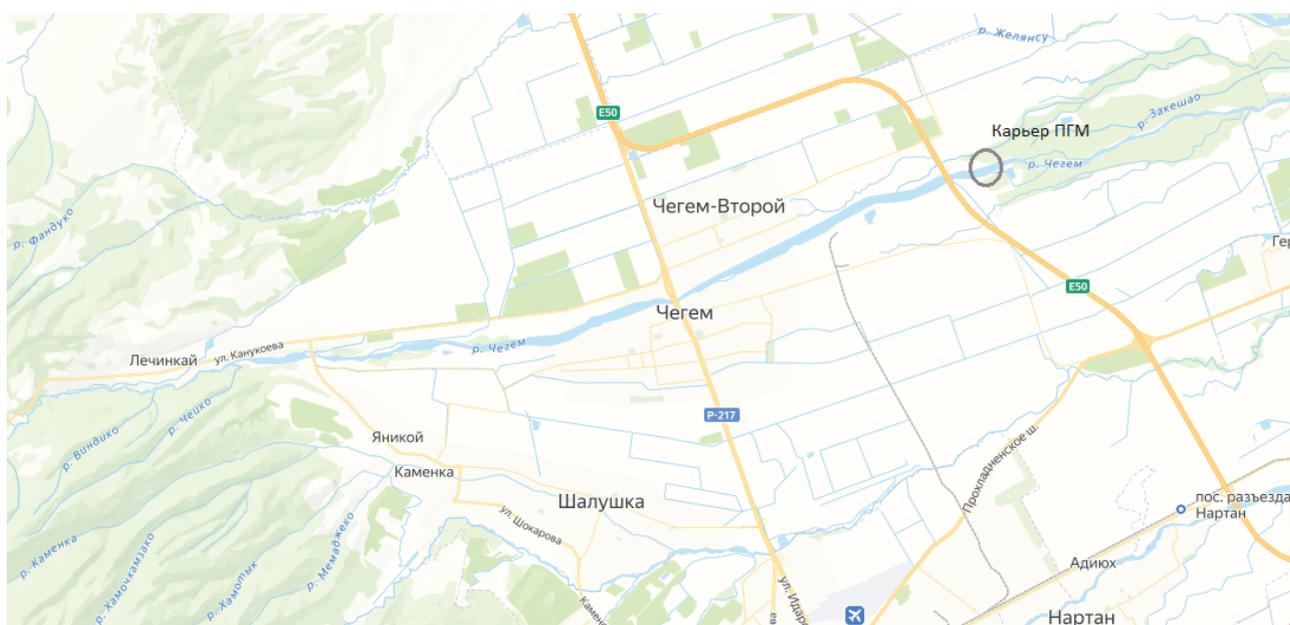


Рис. 2. Картосхема расположения карьера песчано-гравийных материалов

Fig. 2. Map of the location of the object under study

грунта организован 21 карьер по добыче песчано-гравийного материала из русла рек, в том числе на реках Черек – 9, Баксан – 5, Малка – 4, Чегем – 3 [6].

По данным Кадастра, все селевые притоки р. Чегем расположены выше с.п. Лечинкай [5]. Река Чегем не является селеносной. Однако в бассейне р. Чегем находятся 47 селеносных притоков (21 левых, 26 правых), которые выносят в основное русло большое количество рыхлообломочных песчано-гравийных материалов. Все бассейны селеносных притоков занимают площадь около 541 км<sup>2</sup>, что составляет 62,6% от общей площади бассейна р. Чегем.

Ниже приводятся расчеты по определению морфометрических и гидрологических параметров р. Чегем в районе руслового карьера ниже с.п. Чегем Второй (рис. 3), выполненные согласно работам [7-10], на основе материалов натурных обследований авторов, архивных данных ФГБУ ВГИ и КБ ЦГМС.

Исследуемый участок – русло р. Чегем, где ведутся карьерные работы по выборке песчано-гравийных материалов. На данном участке русла, в связи с уменьшениями уклонов, наблюдается зона отложения аллювиальных пород. Аллювий реки сложен обломочным



Рис. 3. Карьер по выборке песчано-гравийных материалов в русле р. Чегем (фото И.И. Батчаева, 2023 г.)

Fig. 3. Quarry for sand and pebble sampling material in the riverbed Chegem (Photo by Batchaev I.I., 2023.)

материалом: галька, гравий, часто – чистый песок. Максимальные размеры гальки в поперечнике составляют 10-12 см. Особенностью карьера шириной 110-130 м и длиной более 300 м является его размещение непосредственно в русле реки. Глубина выборки составляет от 4 до 6 м. В связи с тем, что карьер является русловым, по мере выборки грунтового материала река постоянно меняет свое направление. Поэтому при разработке карьера одним из основных условий обеспечения устойчивости русла является установление нормы добычи грунтового материала, которая будет соответствовать годовому поступлению твердых наносов на данный участок реки.

Определение основных параметров производится методом гидрологической аналогии с построением региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов бассейна реки.

Расчеты по определению твердого стока в русле р. Чегем в районе карьера состоят из следующих 6 этапов.

1. Расчет максимального расхода воды 1%-ной обеспеченности в исследуемом водотоке при наличии реки-аналога производится по формуле [7]:

$$Q_{\partial\%} = q'_{\partial\%,a} \varphi_m (\delta\delta_2 / \delta_a \delta_{2a}) A, \quad (1)$$

где  $q'_{\partial\%,a}$  – модуль максимального расхода воды реки-аналога расчетной вероятности превышения  $P_{\%}$ , м<sup>3</sup>/с км<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$q'_{\partial\%,a} = \frac{Q_{\partial\%,a}}{A_a}, \quad (2)$$

где  $\varphi_m$  – коэффициент, учитывающий редукцию максимального модуля стока дождевого паводка,  $q_{1\%}$ , с увеличением площади водосбора  $A$ , км<sup>2</sup>, или продолжительности руслового времени добегания  $\tau_{\partial}$ , мин, рассчитывают в зависимости от значения коэффициента  $\eta_{\phi}$ , представляющего отношение коэффициентов формы водосбора исследуемой реки и реки-аналога, определяющегося по формуле:

$$\eta_{\phi} \approx LA_a^{0,56} / L_a A^{0,56}. \quad (3)$$

Ниже приводятся расчеты расхода 1%-ной обеспеченности в створе русла р. Чегем.

Морфометрические характеристики р. Чегем в исследуемом створе:

- площадь водосбора  $A = 864,0$  км<sup>2</sup>;
- длина русла  $L = 85$  км;
- средневзвешенный уклон русла  $I = 50\%$ ;
- отсутствие озерности и заболоченности.

В качестве реки-аналога была выбрана р. Чегем на участке гидрологического поста (ГП) с.п. Нижний Чегем:

- площадь водосбора  $A = 739,0$  км<sup>2</sup>;
- длина русла  $L = 54,0$  км;
- средневзвешенный уклон  $I = 69\%$ .

Максимальный расход воды р. Чегем 1%-ной обеспеченности, по данным гидрологического поста первого разряда ГП-1 Нижний Чегем, составляет 248,0 м<sup>3</sup>/с (по данным КБ ЦГМС):

$$q_{1\%a} = \frac{248}{739} = 0,3356;$$

$$\eta_{\phi} = \frac{L A_a^{0.56}}{L_a A^{0.56}} = \frac{85 \cdot 739^{0.56}}{54 \cdot 864^{0.56}} = 1,44 < 1,5.$$

При  $\eta_{\phi} < 1,5$  расчетное значение коэффициента  $\phi_m$  определяется по формуле (4) [7]:

$$\phi_m = (F_a / F)^n. \quad (4)$$

Тогда  $\phi_m = (\hat{A}_a / \hat{A})^n = (739/864)^{0.15} = 0,9768$ ;

$$Q_{1\%} = 0,3356 \cdot 0,9768 \cdot 1 \cdot 864,0 = 283,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Максимальный расход воды р. Чегем 1%-ной обеспеченности в районе карьера ниже с.п. Чегем Второй составил 283,2 м<sup>3</sup>/с.

2. Максимальный расход селевого паводка 1%-ной обеспеченности определяется по формуле [10]:

$$Q_{в1\%} = Q_{1\%} \frac{3}{1 - S_{01\%}}, \quad (5)$$

где  $S_{01\%}$  – объемная концентрация твердых материалов в селевой массе, определяемая в зависимости от коэффициента селеактивности  $\mu$ , принимается равной 0,339:

$$Q_{с1\%} = 283,2 \frac{3}{1 - 0,339} = 1285,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Объем селевого паводка 1%-ной обеспеченности определяется в зависимости от объема дождевого паводка и коэффициента селенасыщенности по формуле [10]:

$$W_{в1\%} = W_{1\%} \Psi_W. \quad (6)$$

Объем дождевого паводка определяется по формуле:

$$W_{в1\%} = q_{1\%} \cdot m_a \cdot \lambda_p \cdot F \cdot C_p \cdot 10^3, \quad (7)$$

где  $m_a$  – коэффициент, зависящий от гидрологического района расположения водосбора, принимаемый равным 0,75;  $F$  – площадь водосбора р. Чегем до исследуемого створа;  $\lambda_p$  – переходной коэффициент от селевого расхода обеспеченности;  $P = 1\%$  к расходу другой обеспеченности;  $C_p$  – коэффициент селевого паводка, зависящий от продолжительности бассейнового времени добегающего (τ).

$$W_{в1\%} = 1,54 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 864 \cdot 70,5 \cdot 10^3 = 70353,4 \text{ м}^3;$$

$$W_{с2\%} = 70353,4 \cdot 0,86 = 60504,0 \text{ м}^3.$$

Коэффициент селенасыщенности определяется по формуле:

$$\Psi_W = \frac{1}{W_{отр}}, \quad (8)$$

где  $W_{отр}$  – коэффициент текучести селевой массы для пиковой фазы, определяемый по формуле:

$$W_{отр} = 1 - \frac{S_{оп}}{S_{пт}} \geq 0,050, \quad (9)$$

где  $S_{пт}$  – предельная объемная концентрация твердых материалов в селевой массе, при которой она теряет свойства текучести:

$$\Psi_{W1\%} = \frac{1}{0,61} = 1,64;$$

$$\Psi_{W2\%} = \frac{1}{0,67} = 1,49;$$

$$W_{с1\%} = 70353,4 \cdot 1,64 = 115380,0 \text{ м}^3;$$

$$W_{с2\%} = 60504,0 \cdot 1,49 = 90151,0 \text{ м}^3.$$

4. Объем выноса твердых материалов за расчетную волну селевого паводка определяется по формуле [10]:

$$W_{тп} = S_{оп} \cdot W_{ср}; \quad (10)$$

$$W_{т1\%} = 0,275 \cdot 115380,0 = 31730,0 \text{ м}^3;$$

$$W_{т2\%} = 0,229 \cdot 90151,0 = 20645,0 \text{ м}^3.$$

5. Объем среднегодового твердого стока с селевого бассейна за расчетную волну определяется по формуле [10]:

$$\overline{W}_{тп} = K_T \cdot W_{т2\%}, \quad (11)$$

где  $K_T$  – коэффициент перехода от 2%-ной обеспеченности единичного паводка к средней величине за год, в данном случае принимаемый равным 0,20.

$$\overline{W}_{тп} = 0,20 \cdot 20645,0 = 4129,0 \text{ м}^3.$$

6. По архивным данным гидрологического поста первого разряда ГП-1 Нижний Чегем, в среднем за год по р. Чегем проходит 5 паводков, тогда объем среднегодового твердого стока в расчетном створе русла р. Чегем будет составлять:

$$4129,0 \times 5 = 20645 \text{ м}^3.$$

Объем среднегодового твердого стока в русле р. Чегем в районе карьера на объездной автодороге ниже с.п. Чегем Второй составляет 20,6 тыс. м<sup>3</sup>.

## Выводы

Проведенные исследования показали, что большие объемы крупнообломочного материала, которые в верховьях выносятся в русло р. Чегем многочисленными селевыми притоками, переносятся водным потоком вниз по течению и откладываются в предгорной зоне, где уклоны русла реки резко уменьшаются. На таких участках и закладываются карьеры ПГМ, объемы добычи которых необходимо корректировать, опираясь на расчетные данные гидроморфометрических параметров и паводкового режима реки.

Выработка русловых карьеров приводит к значительным изменениям русла реки. Русловые карьеры оставляют после себя выемки глубиной 4-8 м, которые занимают в основном всю ширину русла. Объем выработок грунтового материала редко регламентируется с точки зрения стока твердых наносов и русловых процессов. Довольно часто добываемый в русле материал не может быстро восполняться ввиду выборки больших объемов и недостаточной транспортирующей

способности реки. На таких участках необходимо проведение берегоукрепительных работ.

В результате исследований была выявлена необходимость периодического мониторинга в целях получения актуальных гидроморфометрических данных о состоянии р. Чегем и русловых процессов, корректировке объемов добычи песчано-гравийных материалов в зависимости от паводкового режима с минимальным негативным воздействием на русловые процессы реки.

#### Список использованных источников

1. Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Природно-ориентированные подходы к добыче аллювиальных строительных материалов из речных русел и пойм // Вестник Удмурского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2012. Вып. 3. С. 3-13.
2. Беркович К.М. Учет современной динамики русла реки Камы ниже Воткинского гидроузла при планировании добычи песчано-гравийных материалов / Ившин С.Ю., Турыкин Л.А., Злотина Л.В. // Двадцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: Сборник докладов кратких сообщений. М.: МГУ, 2012. С. 71-73.
3. Батчаев И.И., Чигирова Л.Б. Развитие русловых процессов в р. Черек в результате строительства Кашхатауской ГЭС (КБР) // Природообустройство. 2022. № 1. С. 70-75.
4. Реестр зарегистрированных в АГКГН географических названий объектов на 16 декабря 2021 г. Кабардино-Балкарская Республика.
5. Кондратьева Н.В. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России / Кондратьева Н.В. Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю. и др. М.: Нальчик: Феория, 2015. 148 с.
6. Сарахова М.А. Оценка экологического и экономического рисков при проведении руслорегулировочных и берегоукрепительных работ на горных реках северных склонов Центрального Кавказа / Сарахова М.А., Якимов А.В., Шаповалов М.И. и др. // Вестник АГУ. 2013. Вып. 4 (125). С. 95-102.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / Рождественский А.В. Гидрологический институт. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
8. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., 2004. 75 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 411 с.
10. Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 27 с.

#### Об авторе

Лейля Барасбиевна Чигирова, научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»; SPIN-код: 2514-0996, AuthorID: 922856, Leilyach@yandex.ru

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Чигирова Л.Б. выполнила экспериментальные и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 26.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.04.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.04.2024

#### References

1. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. Nature-based approaches to the extraction of alluvial building materials from river beds and floodplains // Bulletin of Udmur University. Biology series. Geosciences. 2012. Vol. 3. P. 3-13
2. Berkovich K.M., Ivshin S.Yu., Turykin L.A., Zlotina L.V. Taking into account the modern dynamics of the Kama River bed below the Votkinsk hydroelectric complex when planning the extraction of sand and gravel materials. // In the book: Twenty-seventh plenary inter-university coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuarine processes. Reports and short communications. Interuniversity Scientific Coordination Council on the problem of erosion, channel and estuarine processes at Moscow State University. 2012. P. 71-73.
3. Batchaev I.I., Chigirova L.B. Development of channel processes in the river. Cherek as a result of the construction of the Kashkhatau hydroelectric power station (KBR) // Environmental management. 2022. N1. P. 70-75
4. Register of geographical names of objects registered in the AGKGN as of December 16, 2021 Kabardino-Balkarian Republic.
5. Inventory of mudflow hazard in the south of the European part of Russia / Kondrat'yeva N.V., Adzhiyev A.KH., Bekkiyev M.YU. Moscow. Nal'chik. Publ. Feoriya, 2015. 148 p.
6. Sarahova M.A., Yakimov A.V., Shapovalov M.I. etc. Assessment of environmental and economic risks when carrying out channel regulation and bank protection works on mountain rivers of the northern slopes of the Central Caucasus // Bulletin of ASU. 2013. Issue. 4 (125). P. 95-102
7. A manual for determining calculated hydrological characteristics / Rozhdestvensky A.V. Hydrological Institute. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1984. 248 p.
8. SP 33-101-2003 Determination of the main calculated hydrological characteristics. Moscow. 2004. 75 p.
9. Surface water resources of the USSR. Volume 8. North Caucasus. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1973. 411 p.
10. Instructions for determining the design characteristics of rain mudflows VSN03-76. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1976. 27 p.

#### Information about authors

Leilya B. Chigirova, Researcher FSBI "High-Mountain Geophysical Institute; SPIN-code: 2514-0996, AuthorID: 922856, Leilyach@yandex.ru

Chigirova L.B. carried out experimental and theoretical studies, on the basis of which the generalized and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism. Chigirova

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-94-98>

УДК 621.671:532.5



## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВИХРЕВЫХ НАСОСОВ

М.С. Али✉, Е.А. Лентяева, Д.С. Бегляров

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, Россия

**Аннотация.** Цель исследований заключается в рассмотрении некоторых вопросов теории вихревых насосов, являющихся основными, и частной теории рабочего процесса на базе подходящей модели явлений, происходящих в нем. Вихревые насосы являются неотъемлемой частью различных отраслей промышленности: химической, нефтегазовой, атомной теплоэнергетики, морской, сельскохозяйственной включая водоснабжение. В статье рассматриваются вопросы конструкции вихревых насосов, а также связь кинетических и энергетических параметров в процессе их работы. Несмотря на значимые научные достижения в области разработки различных конструкций насосов данного типа, существуют разногласия в научно-практической деятельности при объяснении основных принципов их работы, что является предметом наших исследований. В статье подробно описываются принципы работы вихревого насоса и обсуждаются общие аспекты теории его рабочего процесса. Рассматриваются пути передачи энергии колеса жидкости, перемещающейся в рабочем канале вихревого насоса. Представлены энергетические зависимости для движения жидкости в рабочих полостях насоса. Получено соотношение, которое показывает, что повышение давления в боковом канале определяется только энергетическими потерями в струйке жидкости, и выводится критерий, который связывает полезный эффект насоса с энергетическими потерями.

**Ключевые слова:** вихревой насос, входной и выходной патрубки, боковой канал, расход, окружная и нормальная составляющая скоростей, энергия жидкости, момент количества движения, давление, коэффициент полезного действия

**Формат цитирования:** Али М.С., Лентяева Е.А., Бегляров Д.С. Теоретические и экспериментальные основы рабочего процесса вихревых насосов // Природообустройство. 2024. № 3. С. 94-98. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-94-98>

Original article

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL FOUNDATIONS OF THE WORKING PROCESS OF VORTEX PUMPS

M.S. Ali✉, E.A. Lentyaeva, D.S. Beglyarov

Russian State Agrarian University- Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya, 44, Russia

**Abstract.** Vortex pumps are an integral part of various industries of chemical, oil and gas, nuclear thermal power, marine, agricultural, including water supply. This article discusses the design of vortex pumps, as well as the relationship between kinetic and energy parameters during their operation. Despite significant scientific achievements in the development of various pump designs of this type, there are disagreements in scientific and practical activities in explaining the basic principles of their operation, which is the subject of our research. This article describes in detail the principles of operation of a vortex pump and discusses general aspects of the theory of its working process. The ways of transferring the energy of the wheel of a liquid moving in the working channel of a vortex pump are considered. The article presents the energy dependences for the movement of liquid in the working cavities of the pump. A relation is obtained that shows that the increase in pressure in the lateral channel is determined only by the energy losses in the fluid stream and a criterion is derived that associates the beneficial effect of the pump with the energy losses.

**Keywords:** vortex pump, inlet and outlet pipes, side channel, flow rate, circumferential and normal components of velocities, fluid energy, angular momentum, pressure, efficiency

**Format of citation:** Ali M.S., Lentyaeva E.A., Beglyarov D.S. Theoretical and experimental foundations of the working process of vortex pumps // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 94-98. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-94-98>

**Введение.** Довольно широкое распространение в разных отраслях отечественной промышленности получили вихревые насосы, по классификации, относящиеся к динамическим лопастным насосам. Благодаря ряду достоинств – таких, как простота рабочих деталей, способность самовсасывания, расширяется область применения вихревых насосов. Они используются и как основное, и как вспомогательное оборудование: в частности, в качестве вакуум-насосов для заливки центробежных насосов. Кроме того, при тех же габаритах, что и у центробежных, вихревой насос способен создать в 3...9 раз больший напор [1, 2].

Насосы данного типа изготавливаются с производительностью, варьирующейся от 8 до 40 м<sup>3</sup>/ч, и с широким диапазоном напоров от 10 до 225 м при высоте всасывания 4...6 м. Их исследованию, как теоретическому, так и экспериментальному, посвящено много работ в нашей стране и за рубежом [4]. Однако до настоящего времени остаются некоторые расхождения при обосновании основных процессов и принципов работы данного типа насоса. Существуют различия в предлагаемых подходах и теориях, зачастую значительно противоречивые, при рассмотрении работы вихревых насосов.

**Цель исследований:** рассмотрение некоторых вопросов теории вихревых насосов, являющихся основными, и частной теории рабочего процесса на базе подходящей модели явлений, происходящих в нем.

**Материалы и методы исследований.** На рисунке 1 изображен вихревой насос типа ВО [4]. Вихревые насосы являются разновидностью динамических лопастных насосов.

Простота конструкции вихревых насосов отражается на их стоимости и дает им преимущество перед другими типами насосов – в частности, перед центробежными. Но характеристики вихревого насоса существенно отличаются от характеристик центробежного насоса. При одинаковых диаметрах рабочих колес и частотах их вращения вихревой насос, благодаря конструктивным особенностям, способен создать в 3,9 раза больший по сравнению с центробежным насосом напор. Вместе с тем вихревые насосы имеют низкий КПД, не превышающий в рабочем режиме 45%. К тому же насосы подобного типа нельзя использовать для подачи жидкости, содержащей абразивные частицы.

При работе вихревого насоса жидкость, отбрасываемая рабочими лопатками, поступает в кольцевой канал, к концентричному валу,

и далее – в напорный патрубок. Перемычка, перекрывающая кольцевой канал, отделяет напорную полость от всасывающей полости. Частицы жидкости, перемещаясь в кольцевом канале несколько раз за один оборот, подхватываются короткими прямолинейными лопатками рабочего колеса, что способствует приращению энергии  $U$  и, следовательно, напора. Всасывающий и напорный патрубки вихревых насосов расположены в верхней части корпуса насоса. Поэтому корпус данного типа насоса можно заливать только один раз – перед первоначальным пуском его в работу. Благодаря этой конструктивной особенности вихревой насос является самовсасывающим.

Таким образом, при вращении колеса с лопатками возникает движение жидкости в боковом канале в направлении вращения рабочего колеса, и давление около выходного патрубка повышается.

Паспортные характеристики вихревых насосов ЛЕО АРм приведены на рисунке 2 [5].

На основании опытов ряда исследователей [6-8] можно установить, что:

1. Повышение давления происходит при средней скорости жидкости  $V_{cp}$  в боковом канале, меньшей, чем средняя окружная скорость движения колеса  $U_{cp}$  (на уровне бокового канала):

$$V_{cp} < U_{cp}. \quad (1)$$

2. На большей части дуги, между входным и выходным патрубками, давление повышается равномерно (в точках бокового канала, расположенных на одинаковом радиусе).

3. Наблюдается интенсивный обмен жидкостью между рабочим колесом и боковым каналом,

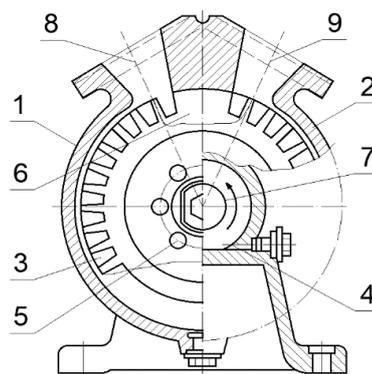


Рис. 1. Вихревой насос типа ВО:

- 1 – корпус насоса; 2 – рабочее колесо;  
3 – лопатка рабочего колеса; 4 – кольцевой канал;  
5 – подшипники; 6 – перемычка; 7 – вал;  
8 – всасывающий патрубок; 9 – напорный патрубок

Fig. 1. Vortex pump type VO

- 1 – pump housing; 2 – impeller; 3 – impeller blade;  
4 – ring channel; 5 – bearings; 6 – jumper;  
7 – shaft;  
8 – suction pipe; 9 – pressure pipe

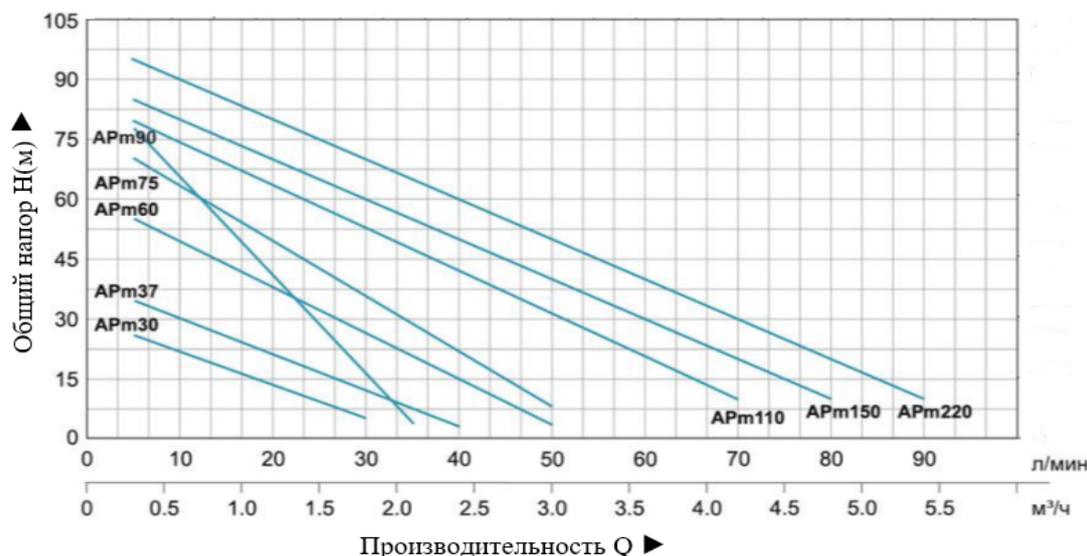


Рис. 2. Напорные характеристики насосов LEO APm

Fig. 2. Pressure characteristics of LEO APm pumps

и этот обмен можно представить как дополнительное круговое движение жидкости.

4. В пределах дуги равномерного повышения давления картина течения является одинаковой для любой ячейки с углом  $\delta$  между соседними лопатками рабочего колеса.

**Результаты и их обсуждение.** При вращении колеса с лопатками возникает движение жидкости в боковом канале в направлении вращения рабочего колеса, и давление около выходного патрубка повышается. Движущиеся лопатки колеса будут придавать этому течению неустановившийся, периодически меняющийся характер. Рассмотрим сектор с кратным центральным углом  $\phi = i \cdot \delta$  в пределах дуги равномерного повышения давления (рис. 3) и запишем уравнение моментов количества движения для рабочего колеса и бокового канала:

$$\Delta M = i \cdot p \cdot \int_F V_i \cdot V_r \cdot r^2 \cdot d_r \cdot d_s \quad (2)$$

При этом условие равенства расхода нулю представлено как

$$\int_F V_i \cdot r \cdot d_r \cdot d_s = 0, \quad (3)$$

где  $\Delta M$  – момент сил в сечениях 1-1 и 2-2 рабочего колеса за вычетом момента трения на его поверхности;  $F$  – боковая площадь одной ячейки между соседними лопатками;  $V_i$  – нормальная составляющая скорости жидкости на площадке  $F$ , которая считается положительной в направлении от колеса.

Уравнение моментов количества движения для бокового канала можно представить (рис. 3) как

$$\int_f \Delta P \cdot r \cdot d_f = \rho \cdot \int_{ABCD} V_i \cdot V_n \cdot r^2 \cdot d_r \cdot d_\phi = \Delta P \cdot S, \quad (4)$$

где  $\Delta P$  – разность давлений в сечениях 1-1 и 2-2 для элемента площади  $d_f$ , считающихся одинаковыми для всех точек площади  $f$ , хотя само давление  $P$  будет переменным;  $S$  – статический момент площади сечения бокового канала.

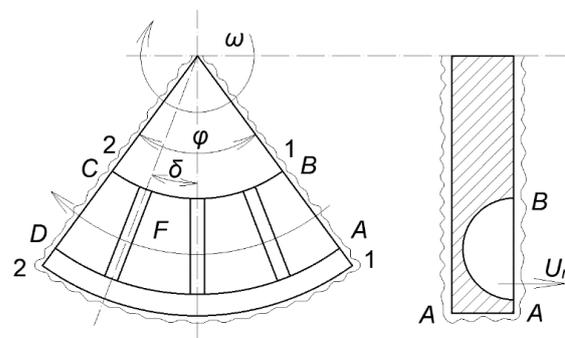


Рис. 3. Расчетная схема движения жидкости в рабочем колесе

Fig. 3. Calculation diagram of fluid movement in the impeller

Сопоставив уравнения (2) и (4), получим:

$$\Delta M = \Delta P \cdot S = \rho \cdot \int_{ABCD} V_i \cdot V_n \cdot r^2 \cdot d_r \cdot d_\phi \quad (5)$$

При выводе уравнения (4) для бокового канала не учитывался момент от напряжений трения на стенках канала. Уравнение (5) при учете в расчете трения примет вид:

$$\Delta M = \Delta P \cdot S + \int_{l,\phi} V_i \cdot V_n \cdot r^2 \cdot d_l \cdot d_\phi \quad (6)$$

Рассмотрим энергетические соотношения для течения жидкости в рабочих лопастях вихревого насоса, используя уравнение энергии для струйки жидкости, движущейся в рабочей полости насоса. Уравнение Бернулли нельзя применять к абсолютному движению, так как оно является неустановившимся вследствие перемещения лопаток рабочего колеса.

Относительное же движение по отношению к системе координат, вращающейся с угловой скоростью  $\omega$  вместе с рабочим колесом, можно считать установившимся. Распределение

относительных скоростей будет при этом повторяться с периодом, соответствующим угловому шагу лопаток.

На рисунке 4 схематически изображено относительное движение в рабочем колесе и боковом канале. Вследствие меньших скоростей в боковом канале ( $V_{cp} < U_{cp}$ ) жидкость в относительном движении перемещается в сторону, обратную вращению колеса. Запишем уравнение Бернулли для струйки, хотя это движение является вихревым [6, 8-12]:

$$\frac{W_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} - \frac{(rW_2)^2}{2g} = \frac{W_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{(rW_1)^2}{2g} + \Delta h, \quad (7)$$

где  $\Delta h$  – потери энергии на участке 1-2 для рассматриваемой струйки;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $W$  – скорость в пределах одной ячейки между лопатками.

Сечения 1-1 и 2-2 выбраны так, чтобы струйка располагалась в них одинаково по отношению к лопаткам. Тогда  $r_1 = r_2$  и  $W_1 = W_2$ , и уравнение (7) примет вид:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} = \frac{\Delta P}{\rho g} = \Delta h. \quad (8)$$

Полученное соотношение показывает, что повышение давления вдоль бокового канала определяется только потерей энергии в струйке жидкости.

Можно назвать следующие пути рассеивания энергии:

1. Внутреннее трение, обусловленное вязкостью жидкости, при котором происходит непосредственный переход энергии поступательного движения жидкости в тепловую энергию.

2. Внутреннее трение, обусловленное турбулентным обменом.

3. Образование более или менее крупных вихрей при обтекании со срывом струй при неустановившемся движении жидкости, обтекающей лопасть. В дальнейшем эти вихри дробятся,

их энергия переходит в энергию турбулентности, и далее, вследствие вязкости, – в тепловую энергию.

Срывающиеся вихри обеспечивают глубокое проникновение и энергичное перемешивание частиц жидкости, движущихся с различной скоростью.

Таким образом, можно найти гидравлический КПД процесса.

Энергия жидкости в боковом канале для какого-либо сечения (отнесенная к единице времени):

$$E = \int_f \left( \rho \frac{V_i^2}{2} + P \right) V_i \cdot d_f, \quad (9)$$

где  $V_i$  – окружная составляющая скорости в сечении канала осевой плоскостью, направленная по нормали к сечению.

Приращение этой энергии по длине с учетом одинакового распределения скоростей в сечениях может быть представлено выражением:

$$\Delta E = \int_f \Delta P \cdot V_i \cdot d_f = \Delta P \cdot Q, \quad (10)$$

где  $\Delta P$  является постоянным по всему сечению и может быть вынесено за знак интеграла.

Потери энергии на том же участке могут быть подсчитаны по соотношению (8):

$$E_{\text{пот}} = \int_f \Delta P \cdot W_i \cdot d_f = \Delta P \cdot \int_f (U - V_i) \cdot d_f$$

или при замене получаем  $U = W \cdot r \cdot V \cdot \int_f r \cdot d_f = S$ ;

$$E_{\text{пот}} = \Delta P \cdot (W \cdot S - Q). \quad (11)$$

Суммируя уравнения (10) и (11), находим:

$$\Delta E + E_{\text{пот}} = \Delta P \cdot S \cdot W. \quad (12)$$

Умножив уравнение (5) на  $W$ , можно получить энергию, отдаваемую соответствующим участком рабочего колеса в единицу времени:

$$\Delta \mu \cdot W = \Delta P \cdot S \cdot W. \quad (13)$$

Как видим, эти энергии являются равными. Коэффициент полезного действия процесса будет составлять:

$$\eta_r = \frac{\Delta E}{\Delta \mu \cdot W} = \frac{Q}{S \cdot W}. \quad (14)$$

В это выражение не входят  $\Delta P$  или величины, от которых  $\Delta P$  зависит.

### Выводы

Исходя из результатов проведенных теоретических исследований и обобщая изложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Величина повышения давления и, следовательно, напора насоса по уравнению в уравнении моментов количеств движения для бокового

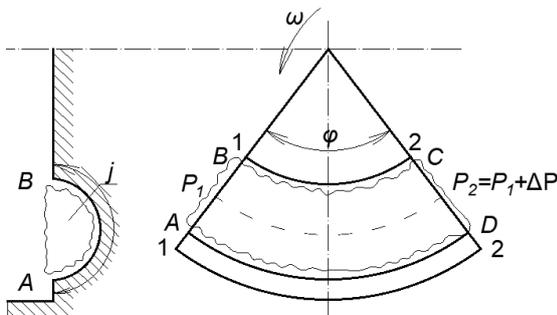


Рис. 4. Расчетная схема движения жидкости в боковом канале

Fig. 4. Calculation diagram of fluid movement in a side channel

канала связана со скоростями, определяющими обмен количествами движения.

2. Полученные зависимости, связывающие полезный эффект насоса: повышение давления с потерями энергии, – являются основными.

3. На основании изложенного вывода можно заключить, что работу вихревого насоса

нельзя рассматривать как работу многоступенчатого лопастного или центробежного насоса без учета потерь энергии.

4. Процессы, аналогичные происходящим в вихревых насосах, характерны и для гидромолот, и для гидравлических тормозов, которые могут быть объединены в общую группу вихревых гидромашин.

#### Список использованных источников

1. **Усаковский В.М.** Водоснабжение и водоотведение в сельском хозяйстве. М.: Колос, 2002. 328 с.
2. **Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф.** Насосы и насосные станции: учебник. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 330 с.
3. Насосы, вентиляторы, кондиционеры: Справочник / Росляков Е.М., Коченков Н.В., Золотухин И.В. и др. СПб.: Политехника, 2006. 882 с.
4. **Кривченко Г.И.** Гидравлические машины: учебник. М.: Энергоатомиздат, 1989. 320 с.
5. **Кикот А.В.** Исследование напорной характеристики вихревого насоса LEOAPm 37 // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2022. Т. 18, № 3. С. 1-7.
6. **Кузнецов В.И., Макаров В.В.** Эффект Ранка: эксперимент, теория, расчет. М.: Инновационное машиностроение, 2017. 376 с.
7. **Байбаков О.В.** Вихревые гидравлические машины. М.: Машиностроение, 1981. 197 с.
8. **Жданов И.Л.** Расчет течения жидкости в каналах вихревого насоса / Хаустов А.И., Сергиевский Э.Д., Овчинников Е.В. // Вестник МАИ. 2003. Т. 10, № 2. С. 47-51.
9. **Sha Y., Yang M., Kang C., Wang J., Huilong C.** Design method and characteristic analysis of vortex pump // Trans. CSAE. 2004. № 20. Pp. 124-127.
10. **Zhu R., Chen J., Wang X., Su B.** Numerical simulation and experimental of influence of hem and high-low blade on performance of vortex pump // Fluid Mach. 2012. № 40. Pp. 1-5.
11. **Ханнанов Р.Б.** Экспериментальные данные испытания вихревого насоса // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 8. С. 287-288.
12. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика: учебник для вузов. 5-е изд., стер. М.: Лань, 2015. 656 с.

#### Сведения об авторах

**Мунзер Сулейман Али**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-код: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

**Екатерина Алексеевна Лентяева**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AFA-4377-2022; Scopus AuthorID: 57219000801; ORCID: 0009-0001-7867-3972; SPIN-код: 5169-5138, AuthorID: 785995; elentyaeva@mail.ru

**Давид Суренович Бегляров**, д-р техн. наук, профессор; db4171@mail.ru

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Али М.С., Лентяева Е.А., Бегляров Д.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

#### Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.04.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 18.04.2024

#### References

1. **Usakovskij V.M.** Water supply and water removal in an agriculture. Moscow: Kolos, 2002. 328 p.
2. **Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevsky V.F.** Pumps and pumping stations: Textbook. M.: Publishing house RSAU-MAA, 2015. 330 p.
3. Etc. Pumps, fans, air conditioners. Directory/ Roslyakov E.M., Kochenkov N.V., Zolotukhin I.V. St. Petersburg: Politekhnik, 2006. 882 p.
4. **Krivchenko G.I.** Hydraulic machines: textbook. M.: Energoatomizdat. 1989. 320 p.
5. **Kikot A.V.** Investigation of the pressure characteristics of a vortex pump LEOAPm 37. // Bulletin of science and education of the North-West of Russia, 2022, vol. 18, no. 3. P. 1-7.
6. **Kuznetsov V.I., Makarov V.V.** Rank effect: experiment, theory, calculation. M.: Innovative Engineering, 2017. 376 p.
7. **Baibakov O.V.** Vortex hydraulic machines. M.: Mechanical engineering, 1981. 197 p.
8. **Zhdanov I.L.** Calculation of fluid flow in the vortex pump channels / Khaustov A.I., Sergievsky E.D., Ovchinnikov E.V. // Vestnik MAI, v. 10, No. 2, 2003.
9. **Sha Y.; Yang M.; Kang C.; Wang J.; Huilong C.** Design method and characteristic analysis of vortex pump. Trans. CSAE2004, 20, 124-127.
10. **Zhu R.; Chen J.; Wang X.; Su, B.** Numerical simulation and experimental of influence of hem and high-low blade on performance of vortex pump. Fluid Mach. 2012, 40, 1-5.
11. **Hannanov R.B.** Experimental test data of a vortex pump testing // Bulletin of the Kazan Technological University. 2012. Vol. 15, No. 8. pp. 287-288.
12. **Sterenlicht D.V.** Hydraulics: Textbook for universities, 5th ed., ster. M.: Lan, 2015. 656 p.

#### Information about authors

**Munzer S. Ali**, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-code: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

**Ekaterina A. Lentyaeva**, CSc (Eng), associate professor; SPIN-code: 5169-5138, AuthorID: 785995; elentyaeva@mail.ru

**David S. Beglyarov**, DSc (Eng), professor; db4171@mail.ru

Munzer S. Ali, Ekaterina A. Lentyaeva, David S. Beglyarov carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

## Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-99-105>

УДК 630\*234:630.181:502.4



### ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ В НАСАЖДЕНИЯХ ЯДРА ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС»

Н.Н. Дубенок<sup>1✉</sup>, А.В. Лебедев<sup>1,2✉</sup>, С.А. Чистяков<sup>1,2</sup>, А.В. Гемонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына; 157440, Костромская обл., г. Кологрив, ул. Некрасова, 48, Россия

**Аннотация.** Естественное возобновление леса относится к важным биологическим процессам. Данные о количественных и качественных характеристиках естественного возобновления на ненарушенных хозяйственной деятельностью участках выступают в качестве контрольного варианта при мониторинге сукцессионных процессов в затронутых ранее рубками лесных насаждениях. Цель исследований заключалась в изучении количественных и качественных характеристик естественного возобновления в насаждениях ядра заповедника «Кологривский лес». Объектом исследований являлись 11 постоянных пробных площадей, заложенных в памятнике природы «Кологривский лес» в 1981-1984 гг. и восстановленных в 2014-2019 гг. По данным обследований пробных площадей в ядре заповедника «Кологривский лес», практически на всех из них преобладает еловый подрост. Ярус молодого поколения леса также формируют породы: клен остролистный (*Acer platanoides*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), береза пушистая (*Betula pubescens*) и береза повислая (*B. pendula*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), вяз шершавый (*Ulmus glabra*). Осина (*Populus tremula*) встречается в виде единичных растений, так как под пологом леса для нее складываются неблагоприятные условия. В коренных ельниках подрост имеет групповое размещение и приурочен к местам отпада перестойных деревьев. В среднем по всем пробным площадям доля мелкого подраста составляет 64%, среднего – 24%, крупного – 12%. На всех рассматриваемых пробных площадях более 80% подраста относится к жизнеспособному. Основная доля сомнительного и нежизнеспособного подраста относится к ели.

**Ключевые слова:** естественное возобновление леса, коренные ельники, заповедник, Кологривский лес, Костромская область

**Формат цитирования:** Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Чистяков С.А., Гемонов А.В. Естественное возобновление в насаждениях ядра заповедника «Кологривский лес» // Природоустройство. 2024. № 3. С. 99-105. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-99-105>

Original article

### NATURAL REFORESTATION IN FOREST PLANTATIONS IN THE CORE OF THE «KOLOGRIVSKY FOREST» NATURE RESERVE

N.N. Dubenok<sup>1</sup>, A.V. Lebedev<sup>1,2</sup>, S.A. Chistyakov<sup>1,2</sup>, A.V. Gomonov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

<sup>2</sup> FSBI “State Nature Reserve “Kologrivsky forest” named after M.G. Sinitsyn; 48, Nekrasov str., Kologriv, Kostroma region, 157440, Russia

**Abstract.** Natural reforestation is one of the important biological processes. Data on the quantitative and qualitative characteristics of natural regeneration in areas undisturbed by economic activity act as a control option for monitoring succession processes in forest stands affected earlier by felling. The purpose of the study is to study the quantitative and qualitative characteristics of natural regeneration in the stands of the core of the Kologrivsky Forest nature reserve. To study natural

regeneration, 11 permanent trial plots were used, laid in the Kologrivsky Forest natural monument in 1981-1984 and restored in 2014-2019. According to surveys of trial plots in the core of the Kologrivsky Forest nature reserve, it was revealed that almost all of them are dominated by spruce undergrowth. Also, the layer of the young forest generation is formed by such species as Norway maple (*Acer platanoides*), small-leaved linden (*Tilia cordata*), white birch (*Betula pubescens*) and silver birch (*B. pendula*), Siberian fir (*Abies sibirica*), Scots elm (*Ulmus glabra*). Aspen (*Populus tremula*) is found in the form of single plants, as unfavorable conditions develop for it under the forest canopy. In old-growth spruce forests, the young generation of the forest has mainly a group distribution and is confined to places where overmature trees fall from the upper canopy. On average, for all trial plots, the share of small undergrowth is 64%, medium – 24% and large – 12%. On all considered trial plots, more than 80% of undergrowth is viable. The main share of doubtful and non-viable undergrowth belongs to spruce.

**Keywords:** natural reforestation, indigenous spruce forests, nature reserve, «Kologrivsky forest», Kostroma region

**Format of citation:** Dubenok N.N., Lebedev A.V., Chistyakov S.A., Gemonov A.V. Natural reforestation in forest plantations in the core of the “Kologrivsky forest” national reserve // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 3. P. 99-105. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-99-105>

**Введение.** Естественное возобновление леса относится к важным биологическим процессам. Но под воздействием внешних факторов, естественного отбора не все древесные породы способны успешно восстанавливаться [1]. Многие исследования [2-4] посвящены вопросам изучения процесса естественного возобновления на нарушенных рубками, пожарами, вредными организмами, рекреационным воздействием лесных участках. Леса, которые на протяжении своего существования не подвергались хозяйственной деятельности, являются эталоном того, как в природе происходит смена старого поколения леса молодым. К таким объектам относятся, в том числе, лесные насаждения, расположенные на землях особо охраняемых природных территорий. Естественное возобновление – стихийный процесс [5], который отражает особенности почвенных и погодных условий, наличие буреломов и ветровалов, природных лесных пожаров и гибели древостоев в результате всплеска численности вредителей леса.

На северо-востоке Костромской области сохранился небольшой массив последних в южной тайге Европейской России фрагментов коренных темнохвойных лесов, которые приурочены к холмистым моренным ландшафтам Вига-Унженского междуречья [6]. В 1980 г. распоряжением Совета Министров СССР один из таких лесных массивов вошел в состав памятника природы «Кологривский лес». В 2006 г. он стал ядром созданного постановлением Правительства РФ государственного природного заповедника «Кологривский лес» [7], который в 2020 г. получил статус биосферного резервата. Сохранившийся лесной массив гарантирует восстановление коренных элементов таежной растительности на соседних, сильно нарушенных рубками, территориях [6].

Проводившиеся в середине XX в. на прилегающих к ядру участках сплошнолесосечные рубки и последующее отсутствие мероприятий по уходу за лесом привели к замещению коренных еловых лесов производными с преобладанием березы [8]. Данные о количественных и качественных характеристиках естественного возобновления на ненарушенных хозяйственной деятельностью участках выступают в качестве контрольного варианта при мониторинге сукцессионных процессов в затронутых ранее рубками лесных насаждениях.

**Цель исследований:** изучение количественных и качественных характеристик естественного возобновления в лесных фитоценозах ядра заповедника «Кологривский лес».

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследований являются лесные фитоценозы в ядре заповедника «Кологривский лес», который расположен в северо-восточной части Костромской области и включает в себя два участка: Кологривский и Мантуровский. Ядро заповедника включает в себя 74 и 75 кварталы Кологривского участка (согласно лесоустройству 2009 г.). Общая площадь составляет 918 га. Преобладают смешанные елово-липовые насаждения. В направлении с севера на юг расположено несколько узколесосечных вырубок 1928 г., не повлекших нарушения стены коренного леса, на которых в настоящее время произрастают перестойные чистые березовые древостои.

Для изучения естественного возобновления использовались 11 постоянных пробных площадей (рис. 1), заложенных в памятнике природы «Кологривский лес» в 1981-1984 гг. [9] и восстановленных в 2014-2019 гг. [7]. Пробные площади 4/81 (0,5 га), 11/83 (0,5 га), 12/83 (0,5 га), 14/83 (0,22 га),

1/84 (0,5 га) и 2/84 (0,2 га) были заложены на нарушенных лесохозяйственной деятельностью участках, а площади 2/81 (0,22 га), 3/81 (0,13 га), 5/81 (0,2 га), 9/83 (0,5 га) и 10/83 (0,5 га) – на местах узколесосечных вырубок.

В период с 2014 по 2022 гг. на пробных площадях проводились работы по учету количественных и качественных характеристик компонентов лесных насаждений. Таксационные показатели

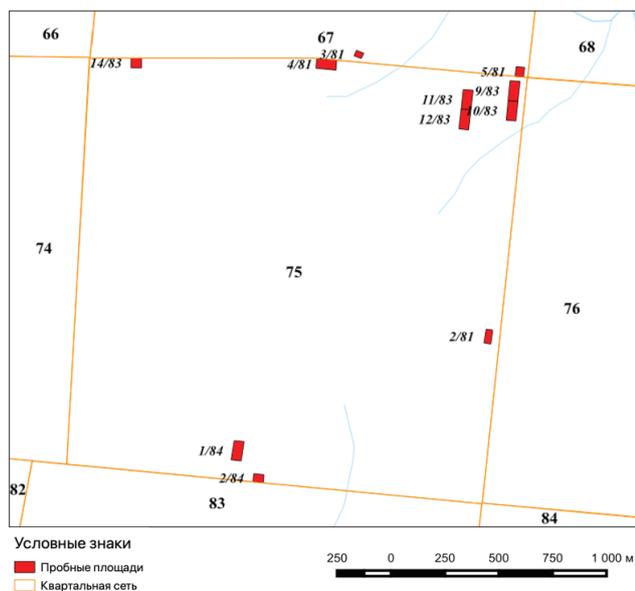


Рис. 1. Размещение постоянных пробных площадей в ядре заповедника «Кологривский лес»

Fig. 1. Placement of permanent trial plots in the core of the “Kologrivsky Forest” natural reserve

древостоя определялись с применением перечислительного метода. Подлесок характеризовался видовым составом, густотой с такими градиациями, как редкий, средний и густой, а также средней высотой. При описании травянистого яруса закладывалась серия учетных площадок 1 × 1 м, по которым определялся видовой состав растений, рассчитывались встречаемость видов и их обилие с использованием шкалы Браун-Бланке [10]. Учет естественного возобновления производился выборочно-статистическим методом на сериях площадок размером 5 × 5 м, на которых определялись породный состав подроста, жизнеспособность, категория крупности, характер размещения [11, 12].

**Результаты и их обсуждение.** На рассматриваемых постоянных пробных площадях практически во всех насаждениях преобладающей породой в подросте является ель (табл. 1). Ранее проведенные исследования показывают, что господствующей в насаждениях ядра заповедника является ель финская (*Picea x fennica*) [13, 14]. Ярус молодого поколения леса формируют также породы: клен остролистный (*Acer platanoides*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), береза пушистая (*Betula pubescens*), береза повислая (*B. pendula*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), вяз шершавый (*Ulmus glabra*). Осина (*Populus tremula*) встречается только в качестве единичных молодых деревьев. Количество подроста составляет от 3,5 до 12,8 тыс. шт. на 1 га. Достоверные различия в среднем количестве подроста на пробных

Таблица 1. Состав и количество естественного возобновления на постоянных пробных площадях

Table 1. Composition and quantity of natural regeneration on the permanent trial areas

Пробная площадь Trial area	Древостой / Stand			Подрост / Undergrowth	
	Состав Composition	Возраст Age	Запас, м <sup>3</sup> на 1 га Stock, m <sup>3</sup> per 1 ha	Состав Composition	Количество, тыс. шт. на 1 га Quantity, thousand pcs per 1 hectare
2/81	4Е4Б2ОС	106	272	9Е1КЛО	12,4
3/81	8Б2Е+ОС+КЛО	90	555	9Е1КЛО	10,2
4/81	5Е4ЛП1Б	190*	309	8Е1Б1ЛП	4,9
5/81	6Б2Е2ОС+ЛП	90	335	6Б4Е	4,0
9/83	7Б2ОС1Е+ПХ+ЛП+КЛО	95	470	5Е3ЛП2КЛО+Б	12,8
10/83	7Б2Е1ОС+ПХ+ЛП+КЛО	95	401	7Е2ЛП1КЛО	10,0
11/83	3Е4ЛП3Б+ПХ+КЛО+ИВД	130*	427	6Е2ЛП2КЛО+ПХ	10,0
12/83	5Е4ЛП1Б+КЛО	125*	258	6Е2ЛП1КЛО1ПХ	11,6
14/83	7Е3Б+ЛП	150*	474	9Е1ЛП	3,5
1/84	5Б4Е1ЛП+В+КЛО	115	223	5Е3ЛП2КЛО+В	11,6
2/84	10Е+ЛП	145	345	10Е+ЛП	9,2

**Примечание:** \* – разновозрастный древостой, Е – ель, ПХ – пихта, ЛП – липа, Б – береза, В – вяз, ОС – осина, ИВД – ива древовидная, КЛО – клен остролистный.

**Note:** \* – stand of different ages, Е – spruce, ПХ – fir, ЛП – linden, Б – birch, В – elm, ОС – aspen, ИВД – willow tree, КЛО – Norway maple.

площадях, заложенных в местах узколесосечных вырубок в березовых древостоях и в ненарушенных хозяйственной деятельностью, не выявлены при ( $t = 0,117$ ;  $P(T < t) \text{ двухстороннее} = 0,909$ ). Между возрастом древостоя на пробной площади и количеством подроста выявлена средняя корреляционная связь ( $r = -0,463$ ,  $p < 0,05$ ), которая указывает на увеличение количества подроста с уменьшением возраста древостоя.

Породный состав (по числу деревьев) подроста в ядре заповедника «Кологривский лес» представлен на рисунке 2. На постоянных пробных площадях 2/81, 3/81, 14/83 и 2/84 с сильно сомкнутым древесным пологом преобладающим является еловый подрост, составляющий более 80%. На других пробных площадях, где под полог леса поступает большее количество света, в естественном возобновлении значительным является присутствие широколиственных древесных пород (липа мелколистная и клен остролистный), которые в породном составе подроста могут составлять до 50% (например, пробные площади 9/83, 10/83, 11/83, 12/83 и др.). Подрост вяза в количестве 5% отмечен на пробной площади 1/84 в сложном липово-вязовом ельнике.

Анализируя характер размещения подроста на пробных площадях, можно сделать вывод о том, что равномерное размещение является характерным только для участков на местах старых узколесосечных вырубок (например, 3/81, 9/83, 10/83), а в разновозрастных ельниках он имеет групповое размещение в местах формирования в древесном пологе «окон возобновления» (например, 11/83, 12/83, 4/81).

Распределение подроста на пробных площадях по категориям крупности показано на рисунке 3. В среднем по всем пробным площадям доля мелкого подроста составляет 64%, среднего – 24%, крупного – 12%. Наибольшая доля крупного подроста (от 15 до 25%) отмечена на пробных площадях 4/81, 11/83, 12/83 и 14/83, которые заложены в абсолютно разновозрастных древостоях ели. В разновозрастных популяциях ели отмечается циклический процесс естественного изреживания, с которым связано и естественное возобновление древесных пород [15, 16]. Значительная доля крупного подроста свидетельствует о гетерогенности рассматриваемых популяций в связи с особенностями воздействия на них внешних факторов и действием механизмов саморегуляции.

Эффективность процесса естественного возобновления леса зависит от количества жизнеспособного подроста. Особенности распределения подроста по категориям жизненного

состояния (жизнеспособный, сомнительный и нежизнеспособный) представлены на рисунке 4. Значительная доля подроста (около 70%) на всех исследуемых постоянных пробных площадях относится к категории жизнеспособного. Подавляющее большинство сомнительного и нежизнеспособного подроста сформировано елью в сильно перегущенных участках в «окнах возобновления», где прослеживается в высокой степени борьба за существование, и как результат – сильная дифференциация молодых деревьев.

Проведенные исследования показывают, что на исследуемых постоянных пробных

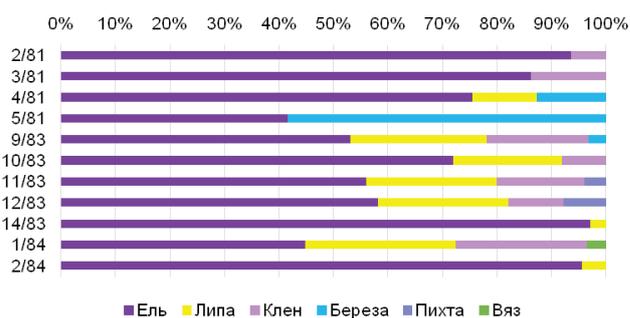


Рис. 2. Породный состав подроста на пробных площадях (по числу деревьев)

Fig. 2. Species composition of undergrowth on trial plots (by number of trees)

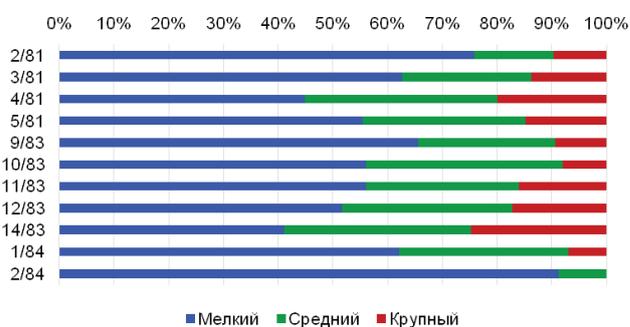


Рис. 3. Распределение подроста по крупности на пробных площадях

Fig. 3. Distribution of undergrowth by size on trial plots

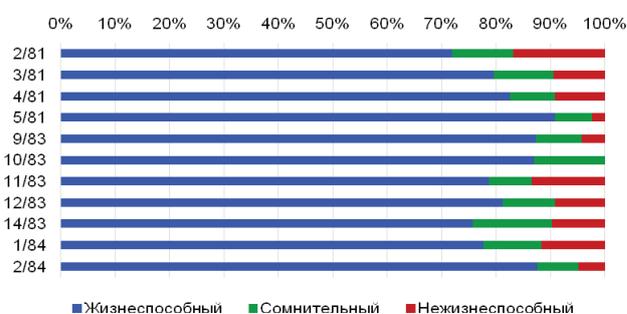


Рис. 4. Распределение подроста по категориям жизненного состояния на пробных площадях

Fig. 4. Distribution of undergrowth by categories of vital status on trial plots

площадях практически отсутствует естественное возобновление осины (*Populus tremula*) по причине недостаточного освещения под пологом темнохвойных лесов [17]. При этом осина является одной из основных лесообразующих пород в южнотаежной зоне.

В мае 2021 г. значительная часть насаждений в ядре заповедника «Кологривский лес» была повреждена катастрофическим ураганным ветром, что привело к формированию большого количества ветровальных площадей (около половины территории) [18]. На ветровальных участках в ближайшие годы возможно появление естественного возобновления березы и осины, как это происходит на сплошнолесосечных вырубках в лесном фонде Костромской области [19]. Породный состав древостоев на старых узколесосечных вырубках свидетельствует о том, что восстановление лесного покрова на ветровальных площадях будет происходить через формирование березовых насаждений с елью под пологом, на смену которым придут разновозрастные сложные ельники.

Процесс естественного возобновления в насаждениях ядра заповедника «Кологривский лес» имеет свои особенности. В разновозрастных ельниках лесообразовательный процесс происходит в несколько этапов [20]: i) появление подроста

различных пород, находящегося в угнетенном состоянии; ii) гибель старых деревьев; iii) адаптация подростка к новым условиям; iv) формирование нового древесного яруса. На участках старых узколесосечных вырубок молодое поколение формируется под пологом преимущественно березы, после отпада перестойных деревьев которой происходит формирование нового древесного яруса.

### Выводы

В результате обследований 11 постоянных пробных площадей в ядре заповедника «Кологривский лес» в период с 2014 по 2022 гг. выявлено, что практически на всех из них преобладает еловый подрост. Ярус молодого поколения леса также формируют породы: клен остролистный (*Acer platanoides*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), береза пушистая (*Betula pubescens*), береза повислая (*B. pendula*), пихта сибирская (*Abies sibirica*). Осина (*Populus tremula*) встречается в виде единичных растений, так как под пологом леса для нее складываются неблагоприятные условия. В среднем по всем пробным площадям доля мелкого подроста составляет 64%, среднего – 24%, крупного – 12%. На всех рассматриваемых пробных площадях более 80% подроста относится к жизнеспособному. Основная доля сомнительного и нежизнеспособного подроста относится к ели.

### Список использованных источников

1. Нгуен В.Т., Смирнов А.П., Данилов Д.А., Ву В.Ч. Естественное возобновление леса после выборочных рубок в Центральном Вьетнаме // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2019. № 4. С. 21-33.
2. Данчева А.В., Залесов С.В., Лучкина Н.В., Коровина В.С. Естественное возобновление сосны в городских лесах города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») // Природобустройство. 2022. № 4. С. 124-131. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-124-131.
3. Беляева Н.В., Нойкина А.М. Успешность естественного возобновления сосны на вырубках в зависимости от типа леса // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008. № 21-3. С. 6-13.
4. Захаров В.П., Коротков С.А. Некоторые закономерности естественного возобновления леса после катастрофических нарушений древостоя в Орехово-Зуевском лесничестве Московской области // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XIII Международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 2-4 февраля 2021 г. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2021. С. 124-127.
5. Лачоха Е.П. Динамика процесса возобновления дуба в пойменных лесах заповедника «Нургуш» // Труды Государственного природного заповедника «Нургуш». Киров: ООО Типография «Старая Вятка», 2017. Т. 4. С. 90-96.

### References

1. Nguyen V.T. Natural regeneration of the forest after selective logging in Central Vietnam / V.T. Nguyen, A.P. Smirnov, D.A. Danilov V.Ch. Vu // Works of the Saint-Petersburg research institute of forest economy. 2019. № 4. P. 21-33.
2. Dancheva A.V., Zalesov S.V., Luchkina N.V., Korovina V.S. Natural regeneration of pine in urban forests of the city of Tyumen (on the example of the ecopark “Zatyumenskiy”) // Prirodobustroystvo. 2022. № 4. P. 124-131. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-124-131.
3. Belyaeva N.V., Noykina A.M. Success of the natural regeneration of pine on felling depending on the type of forest // Actual problems of the forest complex. 2008. № 21-3. P. 6-13.
4. Zakharov V.P., Korotkov S.A. Some regularities of natural forest regeneration after catastrophic forest stand violations in the Orekhovo-Zuevsky forestry of the Moscow region // Effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and ecological problems of the forest complex: Proceedings of the XIII International scientific and technical conference, Yekaterinburg, 02-04 February 2021. Yekaterinburg: Ural state forest technical university, 2021. P. 124-127.
5. Lachokha E.P. Dynamics of the oak renewal process in the floodplain forests of the Nurgush nature reserve // Proceedings of the state natural reserve “Nurgush” / Collection of articles. Volume 4. Kirov: ООО “Typography “Staraya Vyatka”, 2017. P. 90-96.

6. **Хорошев А.В., Немчинова А.В., Авданин В.О.** Ландшафты и экологическая сеть Костромской области. Ландшафтно-географические основы проектирования экологической сети Костромской области: Монография. Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2013. 428 с.
7. **Лебедев А.В., Чистяков С.А.** Долговременные наблюдения на пробных площадях в древостоях ядра заповедника «Кологривский лес» // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: Материалы II Всероссийской (с международным участием) конференции, приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», г. Кологрив, 28-29 октября 2021 г. / ФГБУ Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына. Кологрив: Государственный природный заповедник «Кологривский лес», 2021. С. 31-43.
8. **Лебедев А.В.** Изучение изменения растительного покрова заповедника «Кологривский лес» по материалам дистанционного зондирования Земли // Лесохозяйственная информация. 2020. № 2. С. 43-53. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.04.
9. **Абатуров Ю.Д., Письмеров А.В., Орлов А.Я. и др.** Коренные темнохвойные леса южной тайги (резерват «Кологривский лес»). М.: Наука, 1988. 220 с.
10. Полевая геоботаника: В 3 т. / Академия наук СССР. Ботанический институт им. В.Л. Комарова; Общ. ред., предисл.: **Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин**. М-Л.: Изд-во Академии наук СССР, Ленинградское отделение, 1959-1964.
11. **Лебедев А.В., Чистяков С.А.** Естественное возобновление леса в насаждениях заповедника «Кологривский лес» // Сто лет охраны: уроки заповедания: Сборник статей по итогам работы Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию юбилею Воронежского заповедника, г. Воронеж, 27-29 сентября 2023 г. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2023. С. 176-183. DOI: 10.57007/9785907669338\_2023\_176.
12. **Лежнев Д.В.** Методики исследований естественного возобновления лесных экосистем // Цифровые технологии в лесной отрасли: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, г. Воронеж, 19-20 мая 2022 г. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. С. 130-138. DOI: 10.34220/DTFI2022\_130-138.
13. **Чернявин П.В.** Некоторые аспекты фенотипической структуры старовозрастных ельников заповедника «Кологривский лес» // Лесной вестник. 2016. № 5. С. 179-183.
14. **Лебедев А.В., Гемонов А.В., Селиверстов А.М.** Фенотипическая структура и разнообразие популяций ели заповедника «Кологривский лес» // Природообустройство. 2022. № 1. С. 109-116. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-109-116.
15. **Демаков Ю.П.** Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 416 с.
16. **Демаков Ю.П., Исаев А.В.** Закономерности роста деревьев ели в пойма рек Большой и Малой Кокшаги // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». 2009. № 4. С. 68-123.
17. **Чижов Б.Е.** Ценогическая роль осины в лесах Западной Сибири / Санников С.Н., Казанцева М.Н., Глухарева М.В., Номеровских А.В., Аверьянов Д.В. // Лесоведение. 2013. № 2. С. 3-8.
6. **Khoroshev A.V.** Landscapes and ecological network of the Kostroma region. Landscape and geographical foundations of the design of the ecological network of the Kostroma region: Monograph / A.V. Khoroshev, A.V. Nemchinova, V.O. Avdanin. Kostroma: KSU named after N.A. Nekrasov, 2013. 428 p.
7. **Lebedev A.V., Chistyakov S.A.** Long-term observations on trial plots in the stands of the core of the “Kologrivsky Forest” reserve // Contribution of specially protected natural territories to the ecological sustainability of the regions: Current state and prospects: materials of the II All-Russian (with international participation) conference, timed to the 15th anniversary of the creation of the “Kologrivsky Forest” reserve, Kologriv, 28-29 October 2021 / FSBI “State natural reserve “Kologrivsky Forest” named after M.G. Sinitsyn”. Kologriv: Kologrivsky forest state natural reserve, 2021. P. 31-43.
8. **Lebedev A.V.** Study of changes in the vegetation cover of the reserve “Kologrivsky forest” based on the materials of remote sensing of the Earth // Forestry information. 2020. № 2. P. 43-53. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.04.
9. **Abaturo Yu.D., Pismerov A.V., Orlov A.Ya.** Indigenous dark coniferous forests of the southern taiga (“Kologrivsky forest” reserve). Moscow, Nauka Publ., 1988. 220 p.
10. Field geobotany. 3 vol. / Academy of Sciences of the USSR. Botanical institute named after V.L. Komarov; edited by (and with introduction) E.M. Lavrenko and A.A. Korchagin. M-L.: Printing house of the Academy of Sciences of the USSR. [Leningrad division], 1959-1964.
11. **Lebedev A.V., Chistyakov S.A.** Natural regeneration of the forest in the plantations of the Kologrivsky Forest reserve // One hundred years of protection: lessons of reserving: Collection of articles on the results of the work of the All-Russian scientific conference dedicated to the 100th Anniversary of the Voronezh Natural reserve, Voronezh, September 27-29, 2023. Voronezh: Digital polygraphy, 2023. P. 176-183. – DOI: 10.57007/9785907669338\_2023\_176.
12. **Lezhnev D.V.** Methods of research of natural regeneration of forest ecosystems // Digital technologies in the forest industry: materials of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, May 19-20, 2022. Voronezh: Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, 2022. P. 130-138. – DOI: 10.34220/DTFI2022\_130-138.
13. **Chernyavin P.V.** Some aspects of the phenotypic structure of old-age spruce forests of the reserve “Kologrivsky les” // Lesnoy vestnik. 2016. № 5. P. 179-183.
14. **Lebedev A.V.** Phenotypic structure and diversity of spruce populations of the Kologrivsky Forest Reserve / A.V. Lebedev, A.V. Gemonov, A.M. Seliverstov // Prirodobustrojstvo. 2022. No 1. P. 109-116. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-109-116.
15. **Demakov Y.P.** Diagnostics of sustainability of forest ecosystems (methodological and methodical aspects). Yoshkar-Ola: Periodika Marij El, 2000. 416 p.
16. **Demakov Yu.P.** Laws of growth of spruce trees in the floodplain of the Bolshaya and Malaya Kokshaga rivers / Yu.P. Demakov, A.V. Isaev // Scientific works of the State natural reserve “Bolshaya Kokshaga”. 2009. № 4. P. 68-123.
17. **Chizhov B.E.** Cenotic role of aspen in the forests of Western Siberia / B.E. Chizhov, S.N. Sannikov, M.N. Kazantseva, M.V. Glukhareva, A.V. Nomerovskikh, D.V. Aveyanov // Forest science. 2013. № 2. P. 3-8.

18. Лебедев А.В., Чистяков С.А. Оценка последствий ветровала 2021 года на территории биосферного резервата «Кологривский лес» // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: Материалы II Всероссийской (с международным участием) конференции, приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», г. Кологрив, 28-29 октября 2021 г. Кологрив: Государственный природный заповедник «Кологривский лес», 2021. С. 71-77.

19. Багаев С.С., Чудецкий А.И. Результаты рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2018. № 1. С. 5-20. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.01.

20. Коренные темнохвойные леса южной тайги (резерват «Кологривский лес»). М.: Наука, 1988. 220 с. ISBN 5-02-004643-4

18. Lebedev A.V., Chistyakov S.A. Assessment of the consequences of the 2021 windfall on the territory of the "Kologrivsky Forest" biosphere reserve // Contribution of specially protected natural territories to the ecological sustainability of the regions: Current state and prospects: materials of the II All-Russian (with international participation) conference, timed to the 15th anniversary of the creation of the Kologrivsky forest reserve, Kologriv, October 28-29, 2021. Kologriv: Kologrivsky Forest State Nature Reserve, 2021. P. 71-77.

19. Bagaev S.S., Chudetsky A.I. Results of cutting in deciduous-spruce plantations of the Kostroma region // Forest economy information. 2018. No 1. P. 5-20. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.01.

20. Коренные темнохвойные леса южной тайги (резерват Кологривский лес). М.: Наука, 1988. 220 с. Indigenous dark coniferous forests of the southern taiga (Kologrivsky forest reserve). Moscow, Nauka Publ., 1988. 220 p.

#### Об авторах

**Николай Николаевич Дубенок**, академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций; WOSResearchID: AAC-7746-2020; Scopus AuthorID: 57200111134; РИНЦ ID: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

**Александр Вячеславович Лебедев**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, научный сотрудник; alebedev@rgau-msha.ru

**Сергей Анатольевич Чистяков**, аспирант кафедры землеустройства и лесоводства, заместитель директора по науке; bober.vet@mail.ru

**Александр Владимирович Гемонов**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры землеустройства и лесоводства; научный сотрудник; WOSResearchID: AAX-9891-2020, Scopus AuthorID: 57214907823; РИНЦ ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

#### About the authors

**Nikolay N. Dubenok**, academician of RAS, DSc (Agro), professor, head of the department of agricultural land reclamation; WOSResearchID: AAC-7746-2020; Scopus AuthorID: 57200111134; RINTS ID: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

**Alexander V. Lebedev**, CSc (Agro), associate professor of the department of land management and forestry, researcher; alebedev@rgau-msha.ru

**Sergey A. Chistyakov**, post graduate student of the department of land management and forestry, deputy director on science; bober.vet@mail.ru

**Alexander V. Gemonov**, CSc (Agro), associate professor of the department of land management and forestry, researcher; WOSResearchID: AAX-9891-2020, Scopus AuthorID: 57214907823; RINTS ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Чистяков С.А., Гемонов А.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Criteria of authorship

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 15.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 05.03.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 05.03.2024

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Chistyakov S.A., Gomonov A.V. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-106-111>

УДК 630\*5:621.311



## ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА РЕКУЛЬТИВИРОВАННОМ ЗОЛОТВАЛЕ

И.Е. Корчагин<sup>✉</sup>, С.В. Залесов, Р.А. Осипенко

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»; 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Россия

**Аннотация.** Целью исследований являлась оценка изменений основных таксационных показателей искусственных сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированном золоотвале №1 Рефтинской ГРЭС. Район проведения исследований относится к округу предлесостепных сосново-березовых лесов Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесной области. Исследования проводились на пробных площадях. Проанализирована динамика таксационных показателей древостоев за период с 2011 по 2021 гг. на 6 пробных площадях. Установлено, что сосновые насаждения на золоотвале характеризуются бонитетами от Ia до II. Запас древостоев 31-летнего возраста достигает 290 м<sup>3</sup>/га при среднем ежегодном приросте 9,4 м<sup>3</sup>/га. Максимальным приростом по высоте за период с 2011 по 2021 гг. характеризуются древостои 1999 и 2005 гг. посадки по диаметру 1992 и 2005, а по запасу – 1992 и 1999 гг. посадки. Минимальное значение прироста по запасу характерно для ПП 3 (1997 г. посадки) и объясняется сильной внутривидовой борьбой при высокой густоте древостоя, что свидетельствует о необходимости проведения рубок ухода.

**Ключевые слова:** подзона южной тайги, золоотвал, рекультивация, искусственные насаждения, сосна обыкновенная

**Формат цитирования:** Корчагин И.Е., Залесов С.В., Осипенко Р.А. Динамика таксационных показателей искусственных сосновых древостоев на рекультивированном золоотвале // Природообустройство. 2024. № 3. С. 106-111. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-106-111>

Original article

## DYNAMICS OF TAXATION INDICATORS OF ARTIFICIAL PINE STANDS ON THE RECLAIMED ASH DUMP

I.E. Korchagin<sup>✉</sup>, S.V. Zalesov, R.A. Osipenko

FSBEI HE "Ural State Forestry University"; 37, Sibirsky tract, Yekaterinburg, 620100, Russia

**Abstract.** The aim of the research was to assess changes in the main taxation indicators of artificial pine stands growing on the reclaimed ash dump No 1 of Reftinskaya GRES (SDPS- State District Power Station). The study area belongs to the district of preforest-steppe pine-birch forests of the Trans-Ural plain province of the West Siberian lowland forest region. The studies were carried out on sample plots (PTP). The dynamics of forest stand inventory indicators for the period from 2011 to 2021 on six sample plots is analyzed. It has been established that pine plantations on the ash dump are characterized by bonitets from Ia to II. The stock of forest stands of 31 years of age reaches 290 m<sup>3</sup>/ha, with an average annual growth of 9.4 m<sup>3</sup>/ha. The maximum increase in height for the period from 2011 to 2021 is characterized by stands of 1999 and 2005 years of planting, in diameter of 1992 and 2005, and in terms of stock of 1992 and 1999 years of planting. The minimum value of growth in terms of stock is typical for PTP-3 (1997 planting year) and is explained by strong intraspecific struggle with high stand density.

**Keywords:** southern taiga subzone, ash dump, reclamation, artificial plantations, Scot's pine

**Format of citation:** Korchagin I.E., Zalesov S.V., Osipenko R.A. Dynamics of taxation indicators of artificial pine stands on the reclaimed ash dump // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 106-111. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-106-111>

**Введение.** Деятельность человека, обусловленная современным уровнем жизни, требует огромного количества ресурсов и, следовательно, большого количества энергии для их добычи и преобразования. Уральский регион,

издавна являющийся промышленным центром нашей страны, характеризуется не только высокой концентрацией промышленных производств, но и наличием здесь крупнейших объектов промышленности и энергетики. Одним из таких,

можно сказать, исполинов является Рефтинская ГРЭС, начавшая свою работу в 1970 г. и являющаяся крупнейшей угольной электростанцией в России. Электростанция, работающая на экибастузском угле, который характеризуется повышенной зольностью, оказывает сильную нагрузку на окружающую среду. Вопрос рекультивации золоотвала Рефтинской ГРЭС освещался и ранее [1-5]. Исследования направлены на дальнейшее изучение данного вопроса.

**Цель исследований:** оценка изменений основных таксационных показателей искусственных сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированном золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС.

**Материалы и методы исследований.** Объект исследований располагается на территории бывшего золоотвала № 1 Рефтинской ГРЭС, прошедшего рекультивацию в 1992-2007 гг. В результате рекультивации создано 355 га сосновых насаждений. Территория золоотвала № 1 располагается в пределах Рефтинского участка лесничества, площадь которого составляет 17579,0 га. Согласно исследованиям Г.А. Годовалова, с соавторами, объект исследований расположен в равнинном подрайоне Средне-Уральского таежного лесного района [6, 7].

В соответствии с действующим Перечнем лесных районов РФ [8] район проведения исследований относится к Средне-Уральскому таежному лесному району. По районированию Б.П. Колесникова с соавт. [9] район проведения исследований относится к округу предлесостепных сосново-березовых лесов Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области. Климат района, где проводились исследования, – континентальный.

В среднем здесь выпадает 447 мм осадков в год с преобладанием (49%) летних осадков [10].

В ходе исследований был применен общепринятый метод пробных площадей (далее – ПП). Пробные площади закладывались в том же квартале и выделе, что и в исследованиях А.А. Терина [3]. Каждая пробная площадь располагалась в пределах одного выдела в наиболее характерном для данного участка месте. Форма ПП – прямоугольная, размер подбирался с условием наличия в пределах ПП минимум 200 деревьев. На ПП производился сплошной перебор деревьев по диаметру на высоте 1,3 м. Замер высот производился у 25 деревьев по различным ступеням толщины пропорционально представительству каждой ступени [11]. Местонахождение и описание объекта исследований приведены в таблице 1. Общее представление об исследуемых древостоях отражено на рисунке 1.

**Результаты и их обсуждение.** Данные переборов, выполненных на ПП в 2011 и 2021 гг., позволили проанализировать динамику основных таксационных показателей искусственных сосновых древостоев, произрастающих на золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС.

Таксационная характеристика исследуемых искусственных сосняков приведена в таблице 2. Таксационная характеристика древостоев на 2011 г. приведена по данным А.А. Терина [3], на 2021 г. – по данным наших исследований.

Как и следовало ожидать, за десятилетний период средняя высота, средний диаметр, абсолютная полнота и запас исследуемых древостоев увеличились. При этом четыре древостоя из шести стали соответствовать более низкому классу бонитета.

**Таблица 1. Местонахождение и описание объектов исследования**

*Table 1. Location and description of research objects*

№ ПП № SP	№ квартала № quarter	№ выдела № plot	Координаты GPS GPS coordinates	Год посадки Year of planting	Средний шаг посадки, м Average landing step, m	Ширина междурядий, м Distance between rows, m	Густота посадки, тыс. шт./га Planting density, thousand pieces / ha	Межленточное пространство, м Inter-tape spaces, m	Средняя толщина насыпного грунта, см The average thickness of the filled soil, cm
1	107	8	57°06.667' 061°43.827'	1992	0,70	3,3	4,3	-	17
2	107	4	57°07.686' 061°45.939'	1996	0,55	3,3	5,5	5,0	47
3	107	3	57°07.614' 061°44.953'	1997	0,75	3,4	3,9	6,0	39
4	107	13	57°06.883' 061°45.430'	1999	0,64	3,2	4,9	-	39
5	107	24	57°07.421' 061°46.023'	2002	0,65	4,4	3,5	-	22
6	107	29	57°07.523' 061°45.994'	2005	0,60	3,0	5,6	-	15

В культурах на ПП 1, 2, 4 наблюдается процесс самоизреживания, то есть снижение густоты. Увеличение густоты древостоев на ПП 3, 5, 6 объясняется тем, что не все ПП были восстановлены в прежних границах предыдущих исследований [3]. Часть ПП была расширена, а часть – заложена на другом месте (в пределах того же выдела), так как найти столбы, установленные 10 лет назад, не удалось. Кроме того, увеличение густоты могло произойти за счет самосева и достижения частью высаженных ранее растений высоты 1,3 м. Другими словами, ранее не учитывавшиеся растения при последующем пересчете вошли в него.

В целом можно отметить, что лучшими показателями прироста по высоте как по абсолютной, так и по относительной величине, характеризуются сосновые насаждения, произрастающие на ПП 4 и 6, созданные в 1999 и 2005 гг. (рис. 2).



Рис. 1. Культуры сосны на золоотвале Рефтинской ГРЭС (ПП 1)

Fig. 1. Crops of pine on the ash dump of Reftinskaya GRES (SP 1)

Увеличение значений среднего диаметра идет несинхронно по отношению к увеличению средней высоты. Так, если максимальные значения прироста по высоте наблюдались за период с 2011 по 2021 гг. в лесных культурах 1999 и 2005 гг. посадки, то максимальный прирост по диаметру за тот же период наблюдался у лесных культур 1992 и 2005 гг. посадки (рис. 3).

Минимальные значения прироста культур по диаметру зафиксированы на ПП 2 и 3 (1996, 1997 гг. посадки), что можно объяснить меньшей равномерностью размещения деревьев на данных участках. Культуры на ПП 2 и 3 являются ленточными (полосными).

Помимо средней высоты и среднего диаметра, важнейшей характеристикой древостоев является их запас. В искусственных сосновых насаждениях, созданных на золоотвале Рефтинской ГРЭС, увеличение запаса происходит весьма интенсивно.

Материалы (рис. 4) свидетельствуют о том, что особенно существенное увеличение запаса за десятилетний период произошло на ПП-1 (1992 г. посадки), ПП-2 (1996 г. посадки) и ПП-4 (1999 г. посадки).

Культуры 1997 г. посадки характеризуются наименьшим приростом по запасу как в абсолютных, так и в относительных величинах. Вероятной причиной этого может быть высокая густота древостоя в сочетании с неравномерным размещением деревьев по площади. Полученные нами закономерности влияния густоты на другие таксационные показатели сосновых древостоев согласуются с результатами подобных исследований, посвященных изучению вопроса выращивания искусственных сосняков [12-14].

Таблица 2. Таксационная характеристика искусственных сосняков

Table 2. Taxation characteristic of cultivated forest stands

№ ПП № SP	Год посадки Years of planting	Год наблюдения Year of observation	Состав древостоя The composition of the stand	Густота, шт./га Density, pcs / ha	Возраст биологического, лет Biological age, years	Средние / Average		Полнота абсолютная, м <sup>2</sup> /га Absolute thickness, m <sup>2</sup> / ha ensity, m <sup>2</sup> / ha	Запас древостоя, м <sup>3</sup> /га Stand stock, m <sup>3</sup> / ha	Класс бонитета Quality class
						Высота, м Height, m	Диаметр, см Diameter, cm			
1	1992	2011	10С	3390	21	11,5	9,1	22,11	141	Ia
		2021	10С	2628	31	14,6	13,4	37,00	290	Ia
2	1996	2011	10С	3467	17	8,8	9,0	13,74	75	Ia
		2021	10С	2894	27	12,5	11,0	27,70	195	I
3	1997	2011	10С	3632	16	7,8	7,9	17,82	88	Ia
		2021	10С	3659	26	10,5	8,6	21,40	137	II
4	1999	2011	10С	4377	14	6,4	6,4	14,07	61	Ia
		2021	10С	3880	24	11,5	9,5	27,70	188	I
5	2002	2011	10С	2142	13	5,4	5,4	4,85	18	Ia
		2021	10С	2362	23	7,8	9,4	16,30	81	I
6	2005	2011	10С	3016	10	2,4	2,4	1,423	3	II
		2021	10С	3200	20	7,0	8,0	16,10	68	II

На рисунках 5-7 приведены линии хода роста исследуемых древостоев по средней высоте, среднему диаметру и запасу древостоя. Точками обозначены аппроксимируемые значения таксационных показателей, а серыми линиями – направления изменений таксационных показателей древостоев за 10 лет. Вспомогательные (серые) линии хода роста позволяют оценить, насколько однонаправленны процессы роста исследуемых культур. При этом чем круче направлена линия, тем интенсивнее идет рост.

Например, рост культур по диаметру на ПП 2 и 3 явно замедлен, и, вероятно, эта тенденция будет сохраняться, пока древостой не будет прорежен.

Снижение класса бонитета на четырех из шести пробных площадей можно объяснить тем, что технический этап рекультивации золоотвала заключался в размещении на его поверхности слоя грунта толщиной 15-47 см, и на начальном этапе роста лесные культуры осваивали корневыми системами этот слой. В настоящее время корневые системы развиваются в слое золы, что

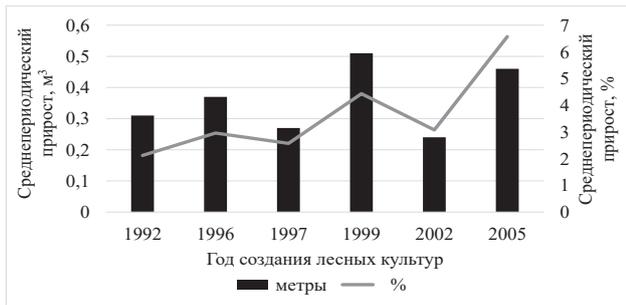


Рис. 2. Среднепериодический прирост культур сосны по высоте

Fig. 2. Average periodic height growth in artificial crops of pine trees

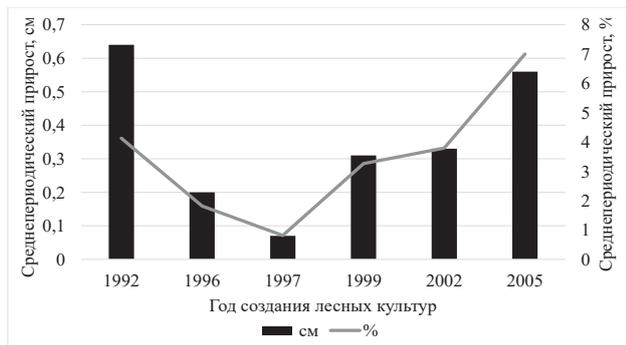


Рис. 3. Среднепериодический прирост культур сосны по диаметру

Fig. 3. Average periodic diameter growth in artificial crops of pine trees

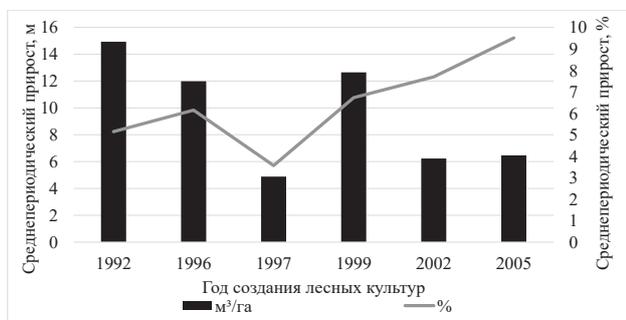


Рис. 4. Относительный и абсолютный показатели среднепериодического прироста по запасу за период с 2011 по 2021 гг.

Fig. 4. Relative and absolute indicators of average periodic growth of a stock for the period from 2011 to 2021

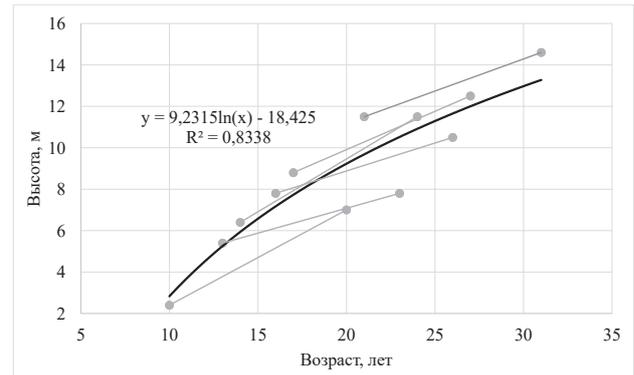


Рис. 5. Ход роста культур сосны по средней высоте

Fig. 5. Growth course of pine crops on average height

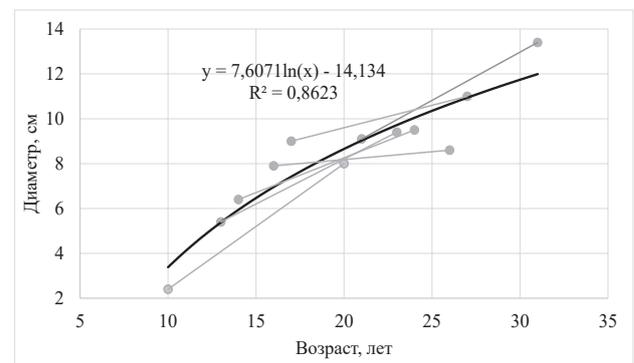


Рис. 6. Ход роста культур сосны по среднему диаметру

Fig. 6. Growth course of pine crops on average diameter

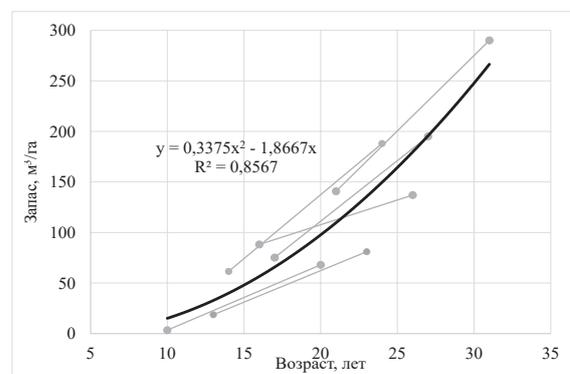


Рис. 7. Ход роста культур сосны по запасу древостоя

Fig. 7. Growth course of pine crops on stand stock

не может не сказаться на производительности древостоев. Также одним из факторов снижения класса бонитета может являться накопление большого количества угнетенных и отставших в росте деревьев. Их накопление обусловлено недостаточно интенсивными процессами самоизреживания древостоев, что в свою очередь приводит к ослаблению исследуемых сосняков и ухудшению их санитарного состояния [15]. Для нивелирования данной негативной тенденции в исследуемых сосняках следует проводить рубки ухода по низовому методу, что увеличит площадь питания деревьев, оставленных на доращивание, и позволит сформировать более устойчивые насаждения [16, 17].

### Выводы

1. За десятилетний период таксационные показатели исследуемых древостоев довольно сильно увеличились: средняя высота –

в 1,3...2,9 раза; средний диаметр – в 1,1...3,3 раза; абсолютная полнота – в 1,2...11,3 раза; запас древостоя – в 1,6...22,7 раза. Наибольшие изменения произошли в самом молодом древостое.

2. На рекультивированном золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС произрастают основные насаждения Ia-II классов бонитета. При этом за десятилетний период большая часть древостоев сменила класс бонитета на более низкий.

3. Запас искусственных сосновых древостоев на рекультивированных золоотвалах Среднего Урала к 31-летнему возрасту может достигать 290 м<sup>3</sup>/га при среднем годовом приросте 9,4 м<sup>3</sup>/га.

4. Lentочные культуры сосны ввиду неравномерного размещения деревьев по площади раньше замедляют свой рост по диаметру, а следовательно, такие культуры нуждаются в рубках ухода в более раннем возрасте по сравнению с рядовыми культурами.

### Список использованных источников

1. **Махнев А.К.** Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / Махнев А.К., Чибрик Т.С., Трубина М.Р. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.
2. **Залесов С.В.** Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС / Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А. и др. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 2 (332). С. 66-73.
3. **Терин А.А.** Формирование лесных насаждений на мелиорированных землях в подзоне лесостепи для сосновых и березовых лесов Свердловской области: специальность 06.03.02 "Лесное хозяйство, лесохозяйственная практика, лесоустройство и лесная таксация": диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Терин Алексей Александрович. Екатеринбург, 2014. 134 с.
4. **Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S.** Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*. 2020. V. 35 (1).
5. **Осипенко Р.А.** Характеристика живого напочвенного покрова под пологом искусственных сосняков, произрастающих на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС / Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., Корчагин И.Е., Зведеннинова Е.В. и др. // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 2 (42). DOI: 10.23649/JAE.2024.42.8.
6. **Годовалов Г.А., Залесов С.В., Лежнина Е.Н.** Районирование лесов Свердловской области // *Аграрный вестник Урала*. 2011. № 8 (87). С. 35-36.
7. **Годовалов Г.А.** К вопросу о необходимости уточнения перечня лесных районов Свердловской области / Годовалов Г.А., Залесов С.В., Залесова Е.С., Чермных А.И. // *Леса России и хозяйство в них*. 2016. № 3 (58). С. 12-19.
8. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 августа 2014 г. № 367, ред. от 2 августа 2023 г. URL:

### References

1. **Makhnev A.K.** Ecological fundamentals and methods of biological recultivation of ash dumps of thermal power plants in the Urals / Makhnev A.K., Chibrik T.S., Trubina M.R., Lukina N.V. *Ekatereburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2002. 356 p.
2. **Zalesov S.V.** Method of growing artificial pine stands at the ash dumps of the Reftinskaya Power Plant / Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zverev A.A. // *Russian Forestry Journal*. 2013. No. 2 (332). P. 66-73.
3. **Terin A.A.** Formation of forest plantings on the reclaimed lands in the underzone of forest-steppe for the pine and birch woods of the Sverdlovsk region: specialty 06.03.02 "Forestry, forestry practice, forest management, and forest taxation": dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences / Terin Alexey Alexandrovich. *Yekaterinburg*, 2014. 134 p.
4. **Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S.** Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 2020, V. 35 (1)
5. **Osipenko R.A.** Characteristics of the living ground cover under the canopy of artificial pine forests growing on the reclaimed ash dump of Reftinskaya GRES / Osipenko R.A., Osipenko A.E., Korchagin I.E., Zvedeninova E.V., Klinov A.S. // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. No. 2 (42), DOI: 10.23649/JAE.2024.42.8.
6. **Godovalov G.A.** Zoning of forests of the Sverdlovsk region / Godovalov G.A., Zalesov S.V., Lezhnina E.N. // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011. No. 8 (87). P. 38-39.
7. **Godovalov G.A.** On the necessity to specify the list of forest regions in the Sverdlovsk region / Godovalov G.A., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Chermnyh A.I. // *Forests of Russia and economy in them*. 2016. No. 3 (58). P. 12-19.
8. About the approval of the List of forest-growing zones of the Russian Federation and the List of forest areas of the Russian Federation: [Approved by Decree of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.08.2014 No. 367. (editorial board from 02.08.2023)] // URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (date of application 12.01.2024).

<https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 12.01.2024).

9. **Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П.** Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 177 с.

10. **Мошкин А.М., Оленев А.М., Шувалов Е.М.** География Свердловской области. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1970. 110 с.

11. **Бунькова Н.П.** Основы фитомониторинга: учебное пособие. Изд. 3-е, доп. и перераб. / Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С. и др. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2020. 90 с. ISBN 978-5-94984-727-5.

12. **Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А.** Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.

13. **Ebel A.V., Ebel Y.I., Zalesov S.V. et al.** The Effects of Different Intensity of Thinning on the Development in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Kazakh Uplands // *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*. 2019. 34 (2). Pp. 182-187. DOI: 10.28955/alinterzbd.639014.

14. **Осипенко А.Е., Башегуров К.А., Осипенко Р.А.** Лесоводственная эффективность прореживания в загущенном сосняке в заброшенном лесном питомнике // *Леса России и хозяйство в них*. 2023. № 4 (87). С. 28-39. DOI: 10.51318/FRET.2023.87.4.002.

15. **Корчагин И.Е., Дегтярев И.С., Осипенко А.Е.** Санитарное состояние лесных культур на золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Материалы XIX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов*. Екатеринбург: УГЛУ, 2023. С. 154-158.

16. **Эбель А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М.** Влияние полноты и густоты на рост сосновых древостоев Казахского мелкосопочника и эффективность рубок ухода в них: монография. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2015. 221 с.

17. **Осипенко А.Е., Клинов А.С.** Качественные характеристики деревьев сосны в искусственных древостоях после рубок ухода // *Леса России и хозяйство в них*. 2022. № 3 (82). С. 56-64. DOI: 10.51318/FRET.2022.99.30.007.

#### Об авторах

**Иван Евгеньевич Корчагин**, ассистент кафедры лесоводства, аспирант; ORCID: 0000-0003-1272-8579; AuthorID: 1115308; korchagini@m.usfeu.ru

**Сергей Вениаминович Залесов**, д-р с.-х. наук, профессор; заведующий кафедрой лесоводства, ORCID: 0000-0003-3779-410x; AuthorID: 185418; zalesovsv@m.usfeu.ru

**Регина Александровна Осипенко**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства; ORCID: 0000-0003-3359-3079; AuthorID: 1026584; osipenkora@m.usfeu.ru

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Корчагин И.Е., Залесов С.В., Осипенко Р.А. выполнили экспериментальные и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

#### Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

9. **Kolesnikov B.P.** Forest conditions and forest types of the Sverdlovsk region / Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. Sverdlovsk: USC of the USSR Academy of Sciences, 1973. 177 p.

10. **Moshkin A.M.** Geography of the Sverdlovsk region / Moshkin A.M., Olenov A.M., Shuvalov E.M.. Sverdlovsk: Sredne-Ural. book publishing house, 1970. 110 p.

11. **Bunyikova N.P.** Base phytomonitoring: training manual / Bunykova N.P., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Magasumova A.G., Osipenko R.A.. – 3rd edition, expanded and revised. – Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering un-t, 2020. 90 p. ISBN 978-5-94984-727-5.

12. **Zalesov S.V.** Growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin / Zalesov S.V., Lobanov A.N., Lugansky N.A.. Ekaterinburg: UGLTU, 2002. 112 p.

13. **Ebel A.V.** The Effects of Different Intensity of Thinning on the Development in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Kazakh Uplands / A.V. Ebel, Y.I. Ebel, S.V. Zalesov et al. // *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 2019; No. 34 (2). P. 182-187. DOI: 10.28955/alinterzbd.639014.

14. **Osipenko A.E.** Forestry efficiency of logging in a thickened pine forest in an abandoned forest nursery / Osipenko A.E., Bashegurov K.A., Osipenko R.A. // *Forests of Russia and economy in them*. 2023. No. 4 (87). P. 28-39. – DOI 10.51318/FRET.2023.87.4.002.

15. **Korchagin I.E.** Sanitary condition of forest crops at the ash dump no. 1 at Reftinskaya GRES / Korchagin I.E., Degtyarev I.S., Osipenko A.E. // *Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: materials of the XIX All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of students and postgraduates*. Ekaterinburg, Uralsky GLU, 2023. P. 154-158.

16. **Ebel A.V.** Influence of normality and density on the growth of pine stands in the Kazakh Uplands forests and the effectiveness of improvement cutting in it / Ebel A.V., Ebel E.I., Zalesov S.V., Mukanov B.M. Monograph. Ekaterinburg. Ural. gos. lesotechn. un. university, 2015. 221 p.

17. **Osipenko A.E.** Qualitative characteristics of pine trees in artificial stands after improvement thinning / Osipenko A.E., Klinov A.S. // *Forests of Russia and economy in them*. 2022. No. 3 (82). P. 56-64. DOI 10.51318/FRET.2022.99.30.007.

#### Author information

**Ivan E. Korchagin**, Assistant of Forestry Department, postgraduate student; ORCID: 0000-0003-1272-8579; AuthorID: 1115308; korchagini@m.usfeu.ru

**Sergey V. Zalesov**, Head of the Department of Forestry, DSc (Agro), Professor; ORCID: 0000-0003-3779-410x; AuthorID: 185418; Researcher ID (WoS): H-2605-2019 Author ID (Scopus): 6504195275; zalesovsv@m.usfeu.ru

**Regina A. Osipenko**, CSc (Agro), Associate Professor of Forestry Department; ORCID: 0000-0003-3359-3079; AuthorID: 1026584; osipenkora@m.usfeu.ru

Korchagin I.E., Zalesov S.V., Osipenko R.A. carried out experimental and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-112-116>

УДК 635.9.58.006.861.631.53



## АРОМАТНЫЕ САДОВЫЕ РОЗЫ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И СОЗДАНИЯ ЗОН АЭРОФИТОТЕРАПИИ

С.А. Бардакова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»;  
356241, Ставропольский край, Шпаковский р-он, г. Михайловск, ул. Никонова, 49, Россия

**Аннотация.** Проведена оценка аромата у 324 сортов роз садовых групп в коллекции Ставропольского ботанического сада: чайно-гибридных (Hybrid Tea), флорибунда (Floribunda), миниатюрных (Miniature), шрабовых (Shrub), плетистых крупноцветковых (Large-Flowered Climber). Выявлено, что ярко выраженным ароматом обладают 36 сортов чайно-гибридных роз, 11 сортов роз флорибунда, 3 сорта миниатюрных роз, 18 сортов шрабовых, 6 сортов крупноцветковых плетистых роз. Средне выраженный аромат имеют 90 сортов чайно-гибридных роз, 12 сортов роз флорибунда, 7 сортов миниатюрных роз, 2 сорта шрабовых, 10 сортов крупноцветковых плетистых роз. Аромат выражен слабо или отсутствует у 38 сортов чайно-гибридных роз, 46 сортов роз флорибунда, 30 сортов миниатюрных роз, 11 сортов шрабовых роз, 4 сортов крупноцветковых плетистых роз. Восприятие и описание аромата у каждого сорта разные, он может напоминать несколько типов аромата цветущих и нецветущих растений. Установлено, что температура воздуха на стадии бутонизации и цветения, время суток, влажность – все это может радикально повлиять на аромат. Самый сильный аромат наблюдается утром: с 9 до 11 часов. Ароматные садовые розы не только могут быть использованы в декоративном садоводстве – они могут являться частью зон ароматерапии. Сорта испытанных садовых групп, получившие по признаку аромата 2 и 3 балла, рекомендованы нами для создания фитозон естественной ароматерапии в парках, которые используются в составе оздоровительных комплексов, частных садов, санаториев и пансионатов различного назначения Северо-Кавказского федерального округа.

**Ключевые слова:** декоративное садоводство, сорт, садовая группа, аромат, эфирное масло, ароматерапия, оздоровительные комплексы

**Формат цитирования:** Бардакова С.А. Ароматные садовые розы для озеленения и создания зон аэрофитотерапии // Природообустройство. 2024. № 3. С. 112-116.  
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-112-116>

Scientific article

## FRAGRANT GARDEN ROSES FOR LANDSCAPING AND AEROPHYTOTHERAPY AREAS

S.A. Bardakova

North-Caucasian federal scientific agrarian center, 356241, Stavropol Krai, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Nikonova St., 49, Russia

**Abstract.** The aroma of 324 varieties of roses of garden groups was evaluated: hybrid tea (Hybrid Tea), floribunda (Floribunda), miniature (Miniature), shrub (Shrub), climbing large-flowered (Large-Flowered Climber) in the collection of the Stavropol Botanical Garden. It was revealed that 36 varieties of hybrid tea roses, 11 varieties of floribunda roses, 3 varieties of miniature roses, 18 varieties of shrubs, 6 varieties of large-flowered climbing roses have a pronounced aroma. 90 varieties of hybrid tea roses, 12 varieties of floribunda roses, 7 varieties of miniature roses, 2 varieties of shrub roses, 10 varieties of large-flowered climbing roses have a medium pronounced aroma. The aroma is weakly expressed or absent in 38 varieties of hybrid tea roses, 46 varieties of floribunda roses, 30 varieties of miniature roses, 11 varieties of shrub roses, 4 varieties of large-flowered climbing roses. The perception and description of the aroma is different for each variety, it can resemble several types of aroma of flowering and non-flowering plants. It was found that the air temperature at the stage of budding and flowering, the time of day, humidity – all this can radically affect the aroma. The strongest aroma is observed in the morning hours from 9 am to 11 am. Fragrant garden roses can be used not only in ornamental gardening, but also be part of aromatherapy zones. Varieties of tested garden groups, which received 2 and 3 points on the basis

of aroma, are recommended by us for the creation of phyto zones of natural aromatherapy in parks, which are used as part of health complexes, private gardens, sanatoriums and boarding houses for various purposes in the North Caucasus Federal District.

**Keywords:** ornamental gardening, variety, garden group, aroma, essential oil, aromatherapy, health complexes

**Format of citation:** Bardakova S.A. Fragrant garden roses for landscaping and aerophytotherapy areas // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 112-116. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-112-116>

**Введение.** Химия аромата роз была изучена американским ученым Д.А. Гэмблом. Он исследовал более 3000 сортов чайно-гибридных роз и пришел к выводу о том, что 25% роз являются слабоароматными или не имеют аромата, 20% – очень ароматные, а остальные находятся между ними [1, 2]. Неповторимый аромат, которым так славятся садовые розы, присущ далеко не всем сортам [3]. Наиболее ароматные сорта роз, созданные на основе дамасской розы (*Rosa damascena* Mill. forma *trigintipetala*), – родом из Сирии, а в России эта роза известна как *R. Kasanlyk* [4].

Присутствие аромата у роз обусловлено наличием в лепестках цветков эфирного «розового» масла [5]. Аромат является важной характеристикой сорта и рецессивным фактором, который легко теряется при скрещивании [6]. Целебные свойства аромата издавна использовались для лечения, профилактики и реабилитации организма человека [7-9].

Интродукционная коллекция садовых роз Ставропольского ботанического сада служит не только базой научно-исследовательской работы, но и как часть рекреационного использования, поэтому создание естественных зон аэрофитотерапии является актуальным.

**Цель исследований:** изучить интенсивность аромата садовых роз для подбора сортикета в декоративных целях и культивирования их в аэрофитотерапевтических зонах Северо-Кавказского федерального округа.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследований являлись 324 сорта из 5 классификационных групп. Исследования по обозначенной теме проходили в 2021-2022 гг. в коллекции Ставропольского ботанического сада. Оценка аромата производилась с использованием Методики сравнительной сортооценки декоративных культур и Методики проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность [10, 11], где 1 балл означает, что аромат отсутствует или слабо выражен, 2 балла означают средний аромат, ощутимый в непосредственной близости от цветка, 3 балла – сильный аромат, ощутимый на расстоянии от цветка.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования на наличие аромата садовых роз

проводились на территории Ставропольского ботанического сада, расположенного на западной окраине г. Ставрополя, на высоте 640 м над уровнем моря. Условия влагообеспеченности – в пределах V умеренно влажного района с ГТК 1,1-1,3, где за год выпадает 600-700 мм осадков. Сумма температур за период активной вегетации составляет 3000-3200°C. Зима умеренно мягкая, самый холодный месяц – январь, его среднесуточная температура составляет –3,5-3,9°C. Абсолютный минимум температуры воздуха составляет –31°C. Лето нежаркое, самый теплый месяц – июль, среднемесячная температура которого составляет +23°C. Абсолютный максимум температуры воздуха может достигать +40°C. [12].

Коллекционный участок роз расположен на черноземе выщелоченном малогумусном тяжелосуглинистом. В пахотном слое преобладают илистая (< 0,001 мм, 31,30%) и лессовидная фракции (0,05-0,01 мм, 31,22%), на третьем месте – фракция тонкой пыли (0,005-0,001 мм, 15,40%). В пахотном слое количество гумуса составляет 4,57-5,61%. Реакция водной суспензии пахотного слоя нейтральная: рН = 6,9 (гранулометрический анализ почвы в Ставропольском ботаническом саду – по данным обследования Ставропольского НИИ сельского хозяйства, 2002 г.).

Интродукционная коллекция садовых роз начала создаваться с первых лет существования сада (1960 г.) и насчитывает 357 сортов. За 65-летний период было испытано свыше 1000 сортов садовых роз. В розарии Ставропольского ботанического сада наибольшим числом представлены 5 садовых групп: Hybrid Tea, Floribunda, Miniature, Shrub, Large-Flowered Climber (рис. 1).

При сортооценке садовых роз по декоративным признакам не менее важным критерием в условиях Ставропольской возвышенности является аромат. В коллекции Ставропольского ботанического сада произрастают немногочисленные старинные садовые розы (Old Garden Roses) групп Hybrid Spinossissima (гибриды розы спиноссиссима), Hybrid Gallica (гибриды розы галлика), Hybrid Perpetual (гибриды розы ремонтантной), которые имеют сильный типичный «розовый» аромат. Только у сорта Frau Karl Druschki группы Hybrid Perpetual цветки лишены аромата.

Современные садовые розы (Modern Roses) – группа роз, которая в настоящее время востребована и культивируется садоводами всего мира, но не все они обладают ароматом. В каждой садовой группе присутствуют ароматные сорта, которые могут источать одну или несколько фруктовых, травянистых и пряных нот. Наиболее широко в коллекционном розарии сада представлены ароматные сорта немецкой, французской, английской селекций фирм: Meiland, Deldard, Kordes, Rosen Tantau, Harkness Roses. Классический аромат, которым обладают старинные розы, присущ большинству сортам английской селекции, оригинатором которых является Д. Остин [13]. Французские и немецкие сорта по силе аромата несколько не уступают сортам английской селекции.

Исследования на наличие аромата проводили у 5 наиболее востребованных и популярных садовых групп: чайно-гибридные (Hybrid Tea), флорибунда (Floribunda), миниатюрные (Miniature), шрабы (Shrub), плетистые крупноцветковые (Large-Flowered Climber). Аромат оценивали у 164 сортов чайно-гибридных роз, у 69 сортов роз

флорибунда, 40 сортов миниатюрных, 31 сорта шрабовых и 20 сортов плетистых крупноцветковых роз.

В результате анализа присутствия аромата установили, что температура воздуха на стадии бутонизации и цветения, влажность, время суток являются чрезвычайно важными факторами, влияющими на аромат. Розы сильнее источают аромат в первой половине дня, в солнечную безветренную погоду. Используя балльную шкалу оценки аромата (3 балла – сильный аромат), получили 36 сортов (22,0%) чайно-гибридных роз, 11 сортов (16,0%) розы флорибунда, 3 сорта (7,5%) миниатюрных, 18 сортов (58%) шрабовых, 6 сортов (30%) крупноцветковых плетистых роз, 2 балла (средний аромат) имеют 90 сортов (54,9%) чайно-гибридных, 12 сортов (17,4%) – розы флорибунда, 7 сортов (17,5%) – миниатюрных, 2 сорта (6,5%) – шрабовых, 10 сортов (50,0%) крупноцветковых плетистых.. Оценку в 1 балл (аромат отсутствует или слабый) получили 38 сортов (23,1%) чайно-гибридных роз, 46 сортов (66,6%) розы флорибунда, 30 сортов (75,0%) миниатюрных, 11 сортов (35,5%) шрабовых, 4 сорта (20%) крупноцветковых плетистых роз (рис. 2).

Для подбора сортимента роз с целевым назначением присутствие или отсутствие аромата являются определяющими факторами. В качестве успешных вариантов при создании ароматерапевтических розариев в оздоровительных комплексах Северо-Кавказского федерального округа, городских парках и скверах актуальными будут сорта не только со средней и сильной интенсивностью аромата, но и с высокими декоративными качествами, зимостойкие и устойчивые к микозам.

Среди существующего большого сортового разнообразия садовых роз розы флорибунда (Floribunda), что означает «щедроцветущие», главенствуют в декоративном садоводстве [14]. Из этой

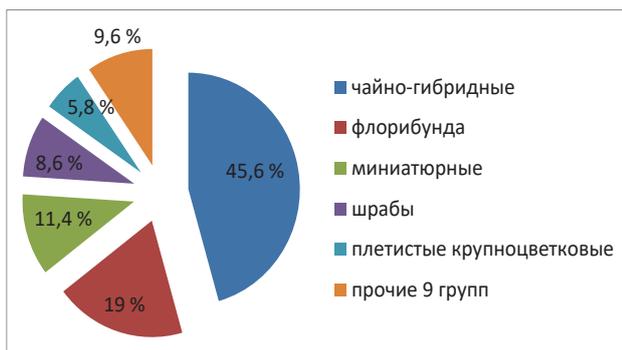


Рис. 1. Спектр состава сортов розы садовой в коллекции Ставропольского ботанического сада

Fig. 1. The spectrum of the composition of garden rose varieties in the collection of the Stavropol Botanical Garden

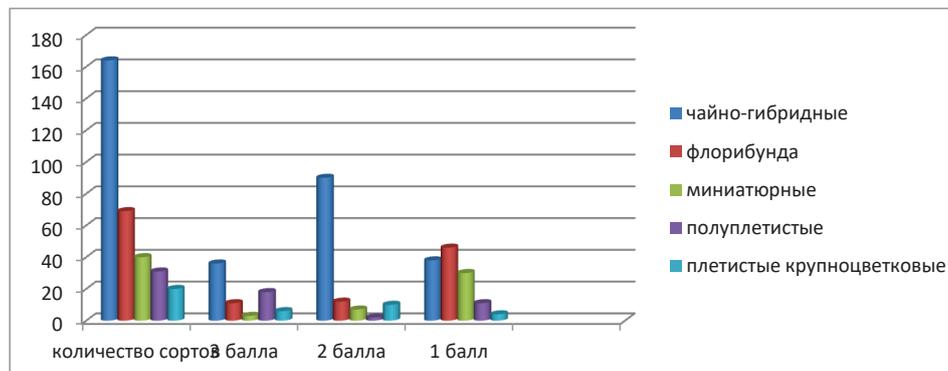


Рис. 2. Оценка аромата исследуемых сортов, баллы  
Fig. 2. Evaluation of the aroma of the studied varieties, in points

садовой группы нами были выделены сорта с ярко выраженным ароматом 'Dr. Faust', 'Margaret Merril', 'Fresia', 'Candy Ruffles', 'Cyclamen', 'Iceberg', 'Laminuette', 'Minerva', 'Pomponella', 'Variety Club', 'Kimono' и сорта с ароматом средней интенсивности 'Ann Henderson', 'Jan Spek', 'Lion's Rose', 'Erfordia', 'Bonfire', 'Koko-loko', 'Коралловый Сюрприз', 'Vogue', 'Triomhe Briard', 'Mambo', 'Jet Set', 'Gabriella'. У роз флорибунда по мере распускания бутона интенсивность аромата усиливается.

Для создания композиций в частных садах рекомендуем 36 сортов чайно-гибридных роз с сильным ароматом и 90 сортов со средне выраженным ароматом. Аромат чайно-гибридных роз усиливается в полуроспуске. Для декорирования вертикальных поверхностей, оформления арок пергол и беседок выделено 6 сортов плетистых крупноцветковых роз с интенсивным ароматом: 'Casino', 'Dizzy Heights', 'Polka 91', 'Rosarium Utersen', 'Lndigoletta', 'Golden Climber'.

Высокими являются потенциальные возможности применения роз группы шрабовых, которые мы рекомендуем в солитерных, групповых посадках и для вертикальных опор. Нами были выделены 18 сортов с интенсивным ароматом. Из них: 11 сортов английской селекции Д. Остина, 'Princess Alexandra of Kent', 'Graham Thomas', 'Grace', 'Heritage', 'The Pilgrim', 'William Shakespeare', 'L.D. Braithwaite'; 4 сорта французской селекции 'Eric Tabarly', 'Telethon', 'Jefe'Artiste', 'Laurent Cabrol'; 3 сорта немецкой селекции 'Westerland', 'Ave Maria', 'Lichtkonigin Lucia'. Сорта плетистых крупноцветковых и шрабовых роз отличаются и обилием лепестков. Количество лепестков в цветке у них достигает до 100 и более, они плотные и густые. Чем плотнее и гуще лепестки, тем сильнее аромат. Сильный аромат

сортов данных групп отмечается в полном роспуске цветка.

Любой рокарий, альпинарий и каменистые горки украсят миниатюрные розы. Главная их особенность – это компактность и размер растения, который не превышает 40 см. Из исследуемых сортов нами рекомендуются 3 сорта с интенсивным ароматом ('Orange Juwel', 'Hula Girl', 'Blue Mist') и 7 сортов с ароматом средней интенсивности ('Colibri', 'Baby Ophelia', 'Lavander Lace', 'Rise 'n Shine', 'Cri-cti', 'Eleanor', 'Malchik-s-Palchik').

### Выводы

Проведена оценка аромата у 324 сортов из 5 садовых групп: Hybrid Tea, Floribunda, Miniature, Shrub, Large-Flowered Climber. Установлено, что сорта чайно-гибридных и роз флорибунда источают более интенсивный аромат в полуроспуске, а сорта плетистых крупноцветковых, шрабовых и миниатюрных роз – в полном роспуске, в первой половине дня. Аромат садовых роз может напоминать несколько типов аромата цветущих и нецветущих растений. Классический «розовый» аромат присущ большинству сортам английской селекции Д. Остина. Из исследуемых садовых роз на присутствие аромата выделены 74 сорта (22,9%) с интенсивным ароматом, 121 сорт (37,3%) – с ароматом средней интенсивности, у 129 сортов (39,8%) аромат отсутствует или выражен слабо. Сорта садовых групп роз, получившие по этому критерию 2 и 3 балла, аромат которых чувствуется в непосредственной близости и на расстоянии от цветка, рекомендуются нами для создания ароматерапевтических розариев в частных садах, парках и оздоровительных комплексах Северо-Кавказского федерального округа.

### Список используемых источников

1. Бумбеева Л.И. Каталог сортов. Опыт интродукции Главного ботанического сада им. В.В. Цицина РАН. АНО ДПО «Зеленая стрела», 2022. 432 с.
2. Плугатарь С.А., Клименко З.К., Зыкова В.К. и др. Сортимент чайно-гибридных роз для ароматерапевтических розариев // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2018. Т. 146. С. 251-255.
3. Бардакова С.А., Кожевников В.И. Розы флорибунда коллекции Ставропольского ботанического сада: Монография. Ижевск, 2023. С. 20.
4. Сурина Е.И., Сурина О.Б. Розы. М.: ОЛМА-ПРЕСС «Звездный мир», 2002. 160 с. ISBN: 5-94850-037-3
5. Ижевский С.А. Розы. Фитон+, 2011, 245 с. ISBN 978-5-93457-355-4
6. Botanicas Roses. The Encyclopedia of Roses Foreword by David Austin introduced by Peter Harknes. 1998. 702 с.
7. Клименко З.К., Зыкова В.К., Карпова Е.Н. Ароматные плетистые розы для культивирования

### References

1. Bumbeeva L.I. Catalog of varieties. Experience of introduction of the Main Botanical Garden named after. V.V. Tsitsin RAS. // ANO DPO "Green Arrow", 2022, 432 p.
2. Plugatar S.A., Klimenko Z.K., Zykova V.K. and others. Assortment of hybrid tea roses for aromatherapy rosaries. // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2018. V. 146. P. 251-255.
3. Bardakova S.A., Kozhevnikov V.I. Floribunda roses from the collection of the Stavropol Botanical Garden. Monograph. – Izhevsk, 2023. P. 20.
4. Surina E.I., Surina O.B. Roses. –M.: OLMA-PRESS Star World, 2002. P. 17.
5. Izhevsky S.A. Roses. Phytion+, 2011.245 p. ISBN 978-5-93457-355-4
6. Botanica Roses. The Encyclopedia of Roses Foreword by David Austin introduced by Peter Harknes, 1998. 702 p.
7. Klimenko Z.K., Zykova V.K., Karpova E.N. Aromatic climbing roses for cultivation in aeropytotherapeutic

в аэрофитотерапевтических зонах Южного берега Крыма // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2018. Т. 146. С. 231-234.

8. **Зыкова В.К.** Применение садовых роз для создания лечебных розариев // Бюллетень Никитского ботанического сада. 2001. Вып. 82. С. 55-61.

9. **Иванов И.К., Кащенко Г.Ф., Юркова О.Ф.** Ароматерапия в парках Крыма: Книга. Симферополь: Таврида, 2017. 128 с.

10. **Былов В.Н.** Основы сравнительной сортооценки декоративных культур // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. М.: Наука, 1978. С. 7-31.

11. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Роза (*Rosa L.*) / ФГУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений», 2007.

12. **Кольцов А.Ф., Бардакова С.А.** Виды шиповника (*Rosa L.*) в Ставропольском ботаническом саду // Вестник АПК Ставрополья. 2019. № 2 (34). С. 62-64.

13. **Бардакова С.А.** Итоги интродукции и перспективы использования сортов Д. Остина в декоративном садоводстве // Вестник АПК Ставрополья. 2020. № 1 (37). С. 39-42.

14. **Городняя Е.В.** Использование сортов и видов роз в озеленении в условиях Предгорной зоны Крыма // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2017. Т. 145. С. 182-185.

#### Об авторе

**Светлана Анатольевна Бардакова**, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии; Author ID:790140; bardakowa.sveta@yandex.ru

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Бардакова С.А. выполнила теоретические и практические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 01.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.04.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 28.04.2024

areas of the Southern coast of the Crimea. // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2018. V.146. P. 231-234.

8. **Zykova V.K.** The use of garden roses for creating medicinal rose gardens // Bulletin. Nikitsky Botanical Garden. 2001. Issue. 82. P. 55-61.

9. **Ivanov I.K., Kashchenko G.F., Yurkova O.F.** Aromatherapy in the parks of Crimea. Book. – Simfropol: Tavrida, 2017. 128 p.

10. **Bylov V.N.** Bases of a comparative variety testing of decorative cultures // Introduction and selection of flower and ornamental plants. M.: The science, 1978. P. 7-31.

11. Methodology for testing for distinctiveness, uniformity and stability. Rosa (*Rosa L.*) Federal State Institution "State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Selection Achievements", 2007.

12. **Koltsov A.F., Bardakova S.A.** Types of rose hips (*Rosa L.*) in the Stavropol Botanical Garden. Bulletin of the agrarian and industrial complex of Stavropol region. 2019. № 2 (34). P. 62-64.

13. **Bardakova S.A.** Results of introduction and prospects for the use of D. Austin varieties in ornamental gardening. Bulletin of the AIC of Stavropol, 2020. No. 1(37). P. 39-42.

14. **Gorodnyaya E.V.** Species and varieties of roses using in gardening of Foothill zone of the Crimea. Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2017. V.145. P. 182-185.

#### About the authors

**Svetlana.A. Bardakova**, senior researcher of the laboratory of dendrology; Author ID:790140; bardakowa.sveta@yandex.ru

Bardakova S.A. performed theoretical and practical research, on the basis of which she summarized and wrote a manuscript, has copyright for the article and is responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-117-124>

УДК 633.8:574



## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ, АРЕАЛ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОЗЕЛЕНЕНИИ

Е.В. Пещанская

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр – (филиал) Ставропольский ботанический сад имени В.В. Скрипчинского; 355029, г. Ставрополь, ул. Ленина, 478, Россия

**Аннотация.** Целью исследований явилось изучение биологических особенностей, ареала распространения и возможности использования в озеленении 18 видов семейства яснотковые. Изучение биологических особенностей и ареалов произрастания видов растений – один из основополагающих элементов успешной интродукции и изучения растений. Условия Ставропольской возвышенности относятся к зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, характеризуются умеренно-континентальным климатом, высота над уровнем моря – 640 м, абсолютный температурный минимум составляет  $-31^{\circ}\text{C}$ , абсолютный максимум температуры –  $+39,7^{\circ}\text{C}$ . Безморозный период составляет 180...190 дней. При изучении 18 видов семейства яснотковые описывался ареал их распространения по данным литературы, проводились регулярные наблюдения и изучались их эколого-биологическая пластичность и особенности выращивания, возможность использования в озеленении. Ареал распространения исследуемых видов достаточно широк: большинство их встречается по всей Европейской части, на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии азиатской части континента. Большинство видов представлено зимнезелеными травянистыми многолетниками, а также двулетниками (шалфей мускатный), травянистыми многолетниками (пустырник сердечный), полукустарничками (тимьян Маршалла, тимьян ползучий, тимьян обыкновенный), полукустарниками (иссоп лекарственный), вечнозелеными кустарниками (лаванда узколистная, шалфей лекарственный). Все растения отзывчивы к поливу, переносят засуху, пригодны для выращивания на свету. Такие виды, как виды иссоп лекарственный, мелисса лекарственная, котовник Мусина, шлемник байкальский, пустырник сердечный, переносят полутень. Все виды размножаются семенами (кроме мяты перечной), большинство – делением куста и черенкованием. Вредителями и болезнями поражаются незначительно. Проведенные исследования позволяют рекомендовать растения к применению не только в лекарственных целях, но и для использования в озеленении в различных стилевых приемах. Их способность обогащать воздух эфирными маслами, подавляющими патогенную микрофлору, существенно улучшает качество жизни человека в перенаселенных городах.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, семейство Lamiaceae, ареал распространения, биологические особенности выращивания, Ставропольская возвышенность

**Формат цитирования:** Пещанская Е.В. Биологические особенности некоторых видов семейства яснотковые, ареал распространения и перспектива их использования в озеленении // Природообустройство. 2024. № 3. С. 117-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-117-124>

Scientific article

## BIOLOGICAL FEATURES OF SOME SPECIES OF THE FAMILY LABIATAE, THE RANGE OF DISTRIBUTION, AND THE PROSPECT OF THEIR USE IN LANDSCAPING

E.V. Peshchanskaya

Federal state budget scientific institution "North Caucasus Federal scientific agricultural center – (a branch) Stavropol botanical garden V.V. Skripchinsky. 355029, Stavropol, st. Lenin, 478, Russia

**Abstract.** The purpose of the research is to study the biological characteristics, distribution area, and the possibility of using 18 species of the family of Clear-cut flowers in landscaping. The study of biological features and distribution areas of plant species is one of the fundamental elements of successful plant introduction and study. The conditions of the Stavropol upland belong to the zone

of unstable humidification of the Stavropol Territory, are characterized by a temperate continental climate, the altitude above sea level is 640 m., the absolute temperature minimum is  $-31^{\circ}\text{C}$ , the absolute maximum temperature is  $+39.7^{\circ}\text{C}$ . The frost-free period is 180...190 days. In the study of 18 species of the Labiatae family, the range of their distribution of species was described according to literary data, regular observations were carried out and their ecological and biological plasticity and peculiarities of cultivation were studied. The distribution range of the studied species is quite wide – most are found throughout the European part, in the Urals, Siberia, the Far East, and Central Asia of the Asian part of the continent. Most species are represented by winter-green herbaceous perennials, as well as biennials – Sage nutmeg, herbaceous perennials – Motherwort cordial, dwarf semishrub – Thyme Marshall, Thyme creeping, Thyme ordinary, half-shrub – Hyssop officinal, evergreen shrubs – Spicate lavender, Sage garden. All plants are responsive to watering, tolerate drought, suitable for growing in the light, the Hyssop officinal, Melissa medicinal, Catnip musina, Baikal scullcap, Motherwort cordial tolerate partial shade. All species are propagated by seeds (except peppermint), most by bush division and cuttings. Pests and diseases are slightly affected. The conducted research allows us to recommend plants for use not only for medicinal purposes, but also for use in landscaping in various techniques and styles. Their ability to enrich the air with essential oils, that suppress pathogenic microflora will significantly improve the quality of human life in overpopulated cities.

**Keywords:** medicinal plants, Labiatae family, distribution area, biological, cultivation features, Stavropol upland

**Format of citation:** Peshchanskaya E.V. Biological features of some species of the family labiatae, the range of distribution, and the prospect of their use in landscaping // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 117-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-117-124>

**Введение.** Возможности лекарственных растений в настоящее время раскрыты далеко неполностью. Их экологическая пластичность, широкий диапазон использования позволяют рекомендовать растения к применению не только в лекарственных целях и для создания ароматических и лечебных садов и парков, но и для использования в зеленом строительстве. Одними из наиболее перспективных для всех вышеуказанных направлений можно назвать представителей семейства яснотковые. Изучением видов данного семейства Ставропольский ботанический сад занимается с 2011 г. За этот период изучена их фенология, проведена оценка перспективности, описаны эколого-биологические свойства [1, 2].

Следует отметить, что большинство исследуемых видов выращивается и наблюдается в коллекции лекарственных растений в течение почти 30 лет. В статье по результатам наблюдений, проведенных в условиях Ставропольской возвышенности, освещаются биологические особенности, ареал распространения, возможность и перспективы применения видов семейства яснотковые в озеленении.

**Цель исследований:** изучение биологических особенностей, ареала распространения и возможности использования в озеленении 18 видов семейства яснотковые. Исследования, проводимые на базе коллекции лекарственных растений Ставропольского ботанического сада, имеют высокую степень научной новизны

и позволяют рекомендовать исследуемые виды для использования в зеленом строительстве в условиях Ставропольской возвышенности.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводились в Ставропольском ботаническом саду, высота над уровнем моря составляет 640 м. Климат – умеренно-континентальный, полусухой, относящийся к зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, ГТК = 1,00...1,09. Среднегодовая температура составляет  $+9,7...+11,0^{\circ}\text{C}$ ; самый холодный месяц – январь ( $-4,9^{\circ}\text{C}$ ), самый теплый – июль ( $+19,6^{\circ}\text{C}$ ), абсолютный температурный минимум составляет  $-31^{\circ}\text{C}$ , абсолютный максимум температуры отмечен в августе ( $+39,7^{\circ}\text{C}$ ). Безморозный период составляет 180...190 дней. Среднегодовое количество осадков – 630 мм, из них в теплый период выпадает около 70%. Более 35% от общего количества приходится на май-июль. Максимум приходится на июнь (192 мм), а минимум – на февраль (28 мм). Летом дожди имеют ливневый характер, сопровождаются грозами, иногда градом. Почвы представлены слабо выщелоченными деградированными черноземами. Глубина гумусового горизонта составляет 31...45 см [1, 3].

При изучении 18 видов семейства яснотковых описывался ареал распространения видов по данным литературы, проводились регулярные наблюдения, изучались их эколого-биологическая пластичность и особенности выращивания в условиях Ставропольской возвышенности [1, 4].

**Результаты и их обсуждение.** *Буквица лекарственная* (*Stachys officinalis* (L.) Trevis.) – зимнезеленое многолетнее корневищное растение. Вид широко распространен во всей Европе и в Европейской России, в том числе на Кавказе, в Западной Сибири и на Урале [5, 6]. Буквица нетребовательна к почвам, удобрению, поливу, предпочитает хорошо освещенные места и полутень; переносит длительные засушливые и морозные периоды; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху начинает усыхать после плодоношения. Размножается делением куртины и посевом семян. Отмечается самосев. Поражение вредителями и болезнями не выявлено. В озеленении может использоваться в качестве солитеров, в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле, продолжительность – до 3-4 недель.

*Душица обыкновенная* (*Origanum vulgare* L.) – многолетнее травянистое растение с многочисленными стеблями. Родина душицы обыкновенной – Юго-Западная Азия и Северная Африка. Произрастает от Средиземноморья до Средней Азии. На территории России представители рода повсеместно встречаются в Европейской части, Южной Сибири, на Кавказе. Отдельные виды этого рода имеют более широкий ареал: встречаются от Азорских островов до Тайваня. Культивируется в Европе, Северной Америке [7, 8]. Душица нетребовательна к почвам, удобрениям, поливу, предпочитает хорошо освещенные места и полутень; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками повреждается слабо. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху усыхает после плодоношения. Размножается делением куртины и посевом семян, возможным является черенкование. Отмечается самосев. Поражение вредителями и болезнями не выявлено. В озеленении может использоваться в качестве солитеров, в миксбордерах, бордюрах и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное обильное цветение.

*Иссоп лекарственный* (*Hyssopus officinalis* L.) – полукустарник высотой 20-80 см. В диком виде иссоп лекарственный встречается в Центральной, Восточной и Южной Европе, Северной Африке, Западной Азии. На территории России в диком виде растение произрастает в Дагестане.

В настоящее время натурализован в Северной Америке, практически на всей территории Европы и в Европейской части Российской Федерации [5, 9, 10]. Иссоп нетребователен к почвам, удобрениям, поливу. Предпочитает хорошо освещенные места, полутень; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками не повреждается. Надземная олиственная часть от основания куста и до 15-20 см высотой сохраняется в зимний период. Размножается черенкованием и посевом семян, реже – делением куста. Отмечается самосев. Повреждения грибковыми заболеваниями и вредителями не выявлены. В озеленении может использоваться в миксбордерах, бордюрах, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении малых архитектурных форм, растительных групп. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное активное цветение.

*Котовник Мусина* (*Nepeta mussinii* Spreng. ex Henckel) – многолетнее травянистое корневищное растение с многочисленными стеблями. Встречается в степной и лесостепной зонах Европейской части России, на Кавказе, в Крыму и Средней Азии. Произрастает на лугах, в лесах, по опушкам, в зарослях кустарников, по берегам рек, на сорных местах, на полянах, огородах, в горах. Культивируется в Западной Европе, США [5, 11].

Котовник нетребователен к почвам, удобрениям, поливу. Успешно возделывается на солнечных местах и в полутени. Переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками повреждается незначительно. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков. Размножается делением куртины и посевом семян. Отмечается самосев. Может поражаться паутиным клещом и грибными заболеваниями. В озеленении может использоваться в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках, в озеленении дальнего плана. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечается в июне-июле, продолжительность – до 4-5 недель.

*Лаванда узколистная* (*Lavandula angustifolia* Mill.) – вечнозеленый кустарник высотой до 60 см с прямостоячими, разветвленными стеблями. Родиной лаванды считается французское и испанское побережья Средиземного моря. Широко культивируется в Европе, Северной Африке и Северной Америке. В Российской Федерации

в диком виде не встречается, возделывается на Северном Кавказе: в Краснодарском, Ставропольском краях, в Северо-Кавказских республиках, Крыму (Флора СССР, 1954), Ростовской, Волгоградской и Московской, Ленинградской областях, на Южном Урале, в Южной Сибири и южных районах Дальнего Востока. Следует отметить, что в климатических условиях средней полосы России растение может выращиваться, но в отдельные годы вымерзает [5, 12, 13].

Лаванда нетребовательна к почвам, удобрениям, поливу; предпочитает хорошо освещенные места; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками не повреждается. Надземная олиственная часть сохраняется в течение круглого года. Лаванда размножается черенкованием и посевом семян. Отмечается самосев. Поражается грибковыми заболеваниями при выращивании в тени. Вредители не выявлены. Форма растения – шаровидная, полушаровидная. В озеленении может использоваться в миксбордерах, бордюрах, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении малых архитектурных форм, растительных групп. Лаванда декоративна круглый год, максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное слабое цветение.

*Мелисса лекарственная (Melissa officinalis L.)* – многолетнее травянистое растение с многочисленными стеблями высотой до 45-50 см. В диком виде мелисса распространена в Центральной и Южной Европе, на Балканах, в Иране, Африке. Выращивается в культуре в Северной Африке, Северной Америке, Украине, Средней Азии, России, Литве [5, 12]. Мелисса нетребовательна к почвам, удобрениям, поливу, успешно возделывается на солнечных местах и в тени. Переносит длительные засушливые и морозные периоды; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков. Размножается делением куртины и посевом семян. Отмечается самосев. Может поражаться паутинным клещом и грибными заболеваниями.

Мелисса в озеленении может использоваться в миксбордерах, бордюрах, в одиночных и групповых посадках, в озеленении малых архитектурных форм. Максимальная декоративность достигается в период вегетации. Цветение невзрачное, отмечается в июне-июле, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное неактивное цветение.

*Многоколосник морщинистый (Agastache rugosa Fisch. & C.A. Mey.)* – многолетнее травянистое растение высотой до 1,2 м. Вид распространен в Восточной Азии. Культивируется в Северной Америке, в некоторых частях Европы и Азии. В Российской Федерации выращивается на Северном Кавказе: в Краснодарском, Ставропольском краях, Северо-Кавказских республиках, в Крыму, средней полосе России, южных районах Урала и Сибири, на Дальнем Востоке [9, 10, 14]. Многоколосник предпочитает солнечные места и увлажненные, дренированные почвы; переносит длительные морозные периоды; в засушливые годы без полива может выпадать; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху она начинает усыхать после плодоношения.

Многоколосник морщинистый размножается посевом семян и делением куста. Отмечается самосев. Поражение вредителями не выявлено. Незначительно поражается грибными заболеваниями. Визуальная оценка формы растения – узкообратнояцевидная, обратнояцевидная. В озеленении может использоваться в качестве солитеров, в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель.

*Многоколосник фенхелевый (Agastache foeniculum (Pursh) Kuntze)* – многолетнее травянистое растение высотой от 45 до 150 см. В России растение в большей степени известно под названием Лофант анисовый, соответствующим одному из синонимов, *Lophanthus anisatus (Nutt.) Benth.* (род Лофант, согласно современным представлениям, является отдельным родом той же подтрибы *Nepetinae*, к которой относится и род Многоколосник). Родина растения – Северная Америка. Естественный ареал вида охватывает северную часть США и прилегающие к США территории Канады. Широко культивируется во всем мире как садовое декоративное, пряно-вкусовое и медоносное растение [6, 14]. Многоколосник предпочитает солнечные места и увлажненные, дренированные почвы; переносит длительные морозные периоды; в засушливые годы без полива может выпадать; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху начинает усыхать после плодоношения. Размножается посевом семян и делением куста. Отмечается самосев. Поражение вредителями не выявлено. Незначительно поражается

грибными заболеваниями. В озеленении может использоваться в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель.

*Монарда двойчатая (Monarda didyma L.)* – многолетнее короткокорневищное травянистое растение высотой 0,4-1,2 м. Монарда распространена на востоке Северной Америки, натурализовалась на северо-западе США, а также в некоторых частях Европы и Азии. В Российской Федерации ее культивируют на Северном Кавказе: в Краснодарском, Ставропольском краях, в Северо-Кавказских республиках, Крыму, Ростовской, Волгоградской и Московской, Ленинградской областях [6, 14, 15]. Монарда нетребовательна к почвам, удобрениям, нуждается в поливе, предпочитает хорошо освещенные места, полутень; переносит длительные морозные периоды, страдает от засухи; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху усыхает после плодоношения. Размножается делением куртины и посевом семян. Отмечается единичный самосев. Поражается мучнистой росой, вредители не отмечены. В озеленении может использоваться в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле, продолжительность – до 3-4 недель.

*Мята колосковая ф. колосковая (Mentha spicata ssp. spicata L.)* – многолетнее корневищное травянистое растение высотой до 60 см, обладающее характерным ментоловым ароматом. Распространено в Европе, Средиземноморском регионе, Африке и Малой Азии. Культивируется как декоративное или лекарственное растение [5]. Мята колосковая предпочитает солнечные места, нетребовательна к почвам, удобрениям, поливу; переносит длительные засушливые и морозные периоды; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху начинает усыхать после плодоношения. Активно разрастается, занимая территорию. Размножается делением куста, отрезками корневищ. Поражение вредителями не выявлено. Незначительно поражается грибными заболеваниями. Визуальная оценка формы растения – широкообратнояйцевидная, раскидистая. В озеленении может использоваться в миксбордерах, в групповых посадках, озеленении дорожек, в лечебных газонах. Максимальная декоративность достигается

в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель.

*Мята перечная (Mentha x piperita L.)* – длиннокорневищное травянистое растение; гибрид, впервые полученный в Англии путем гибридизации дикорастущих видов мяты: мяты водной (*Mentha aquatica*) и мяты колосистой (*Mentha spicata*). Мята широко культивируется во всем мире в промышленных масштабах и на частных приусадебных участках. В России селекционные сорта мяты перечной в промышленных масштабах выращивают в Краснодарском крае и Воронежской области. Иногда дичает [16, 17]. Мята перечная предпочитает солнечные места, нетребовательна к почвам, удобрениям, поливу; переносит длительные засушливые и морозные периоды; повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху начинает усыхать после плодоношения. Активно разрастается, занимая территорию. Размножается делением куста, отрезками корневищ. Поражение вредителями не выявлено. Незначительно поражается грибными заболеваниями. В озеленении может использоваться в миксбордерах, в групповых посадках, озеленении дорожек, в лечебных газонах. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 3-4 недель.

*Пустырник сердечный (Leonurus cardiaca L.)* – многолетнее травянистое растение высотой от 50 до 160 см. Родиной пустырника является Азия. Культивируется в Средиземноморье, Атлантической, Средней и Восточной Европе, Скандинавии, Малой Азии, Монголии, Китае, как заносное растение – в Северной Америке. В Российской Федерации распространен от южных районов Северного Кавказа до северных районов средней полосы [5]. Встречается в диком виде и в культуре. Выращивается в промышленных масштабах. Пустырник предпочитает солнечные места, нетребователен к почвам; переносит длительные морозные периоды; в засушливые годы без полива может выпадать. Повреждается весенними возвратными заморозками. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков, в засуху усыхает после плодоношения. Размножается посевом семян, реже – делением куста. Отмечается обильный самосев. Незначительно поражается паутинным клещом и грибными заболеваниями. В озеленении может использоваться в качестве солитеров, в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения.

Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель.

*Тимьян Маршалла (Thymus marschallianus Willd.)* – мелкий полукустарничек, древеснеющий у основания со стержневым корнем, высотой до 15-25 см. Распространен в Европе, на Северном Кавказе, в Средней Азии, Сибири, на российском Дальнем Востоке. Местообитание – в степях, на склонах холмов, по поймам рек, на каменистых обнажениях, изредка по выгонам, в посевах [5]. Тимьян нетребователен к почвам, удобрениям, поливу. Предпочитает хорошо освещенные места, полутень; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками не повреждается. Надземная олиственная часть сохраняется круглый год. Размножается делением куртины и посевом семян. Отмечается самосев. Поражение вредителями и болезнями не выявлено. В озеленении может использоваться в миксбордерах, окантовках групп, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении дорожек. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное слабое цветение.

*Тимьян обыкновенный (Thymus vulgaris L.)* – вечнозеленый сильноветвистый полукустарничек высотой до 35 см. Родина тимьяна обыкновенного – Испания и юг Франции. Растет в Южной Европе и Северной Африке. Культивируется в Украине, Молдавии, России, Германии, Средней Азии. В Российской Федерации культивируется в Краснодарском, Ставропольском краях, в Крыму [18, 19]. Тимьян нетребователен к почвам, удобрениям, поливу. Предпочитает хорошо освещенные места; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками не повреждается. Надземная олиственная часть сохраняется круглый год. Размножается черенкованием и посевом семян. Отмечается единичный самосев. Поражение вредителями и болезнями не выявлено. В озеленении может использоваться в миксбордерах, бордюрах, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении дорожек. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное слабое цветение.

*Тимьян ползучий (Thymus serpyllum L.)* – вечнозеленый стелющийся сильноветвистый полукустарничек высотой до 5-8 см, диаметр – от 1 м и более. Тимьян ползучий имеет широкий ареал распространения. Встречается

в Евразии: Средиземноморье, Скандинавия, Британские острова, Сибирь. Предпочитает умеренный климат, произрастает преимущественно в степной зоне на песчаных почвах. В более холодных зонах обитает на возвышенных участках [5]. Тимьян нетребователен к почвам, удобрениям, поливу. Предпочитает хорошо освещенные места, полутень; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками не повреждается. Надземная олиственная часть сохраняется круглый год. Размножается делением куртины и посевом семян. Отмечается самосев. Поражение вредителями и болезнями не выявлено. В озеленении может использоваться в миксбордерах, окантовках групп, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении дорожек. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное слабое цветение.

*Шалфей лекарственный (Salvia officinalis L.)* – вечнозеленый кустарник высотой 50-75 см, в цветении достигает 85 см. Родина шалфея лекарственного – Средиземноморье, в том числе Италия и юго-восточная Европа (Греция, Албания, республики бывшей Югославии). Натурализовался повсеместно. На территории России в диком виде не встречается. Гербарные образцы представляют собой культурные или одичавшие растения. Широко культивируется в Европе: в Греции, Италии, Франции, Чехии, Словакии, республиках бывшей Югославии, Молдавии, Украине и в других странах; в России – на Северном Кавказе, в Крыму, средней полосе России. Растет на полях, огородах, в садах как культурное или одичавшее [5]. Шалфей лекарственный нетребователен к почвам, удобрениям, поливу; предпочитает хорошо освещенные места; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками не повреждается. Надземная олиственная часть сохраняется в зимний период. Размножается посевом семян, реже – черенкованием и делением куста. Отмечается самосев. Повреждения грибковыми заболеваниями и вредителями не выявлены. В озеленении может использоваться в миксбордерах, бордюрах, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении малых архитектурных форм, растительных групп. Декоративен круглый год, максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июне-июле, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное слабое цветение.

*Шалфей мускатный* (*Salvia sclarea* L.) – двулетнее травянистое растение. В природе встречается в Центральной и Южной Европе, Западной и Средней Азии, на Кавказе [5] (Флора СССР, 1954). Культивируется в промышленных масштабах. Шалфей мускатный предпочитает солнечные места, нетребователен к почвам; переносит длительные морозные периоды; в засушливые годы без полива может выпадать; весенними возвратными заморозками повреждается слабо. Надземная часть усыхает после плодоношения. Размножается посевом семян, отмечается обильный самосев. Незначительно поражается паутинным клещом и грибными заболеваниями. В озеленении может использоваться в миксбордерах, в одиночных и групповых посадках. Максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июле-августе, продолжительность – до 4-5 недель.

*Шлемник байкальский* (*Scutellaria baicalensis* Georgi) – многолетнее травянистое растение со стержневым корнем высотой до 50 см. Растение имеет монголо-даурско-маньчжурский тип ареала. В диком виде встречается в Забайкалье, Среднем Приамурье, на Дальнем Востоке (в Приморье). В культуре возделывается на Северном Кавказе, в средней полосе России. Выращивается в промышленных масштабах [5, 7]. Шлемник нетребователен к почвам, удобрениям, поливу. Предпочитает хорошо освещенные места, полутень; переносит длительные засушливые и морозные периоды; весенними возвратными заморозками повреждается слабо. Надземная часть сохраняется до первых осенних заморозков.

#### Список использованных источников

1. Пещанская Е.В. Оценка перспективности некоторых видов семейства *Lamiaceae* Lindl в условиях Ставропольской возвышенности // Природообустройство. 2022. № 3. С. 122-128.
2. Пещанская Е.В. Биологические и экологические особенности некоторых видов семейства *Lamiaceae* Lindl., используемых для создания оздоровительных зон // Материалы X Международной научно-практической конференции «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени». Ч. 2. Екатеринбург: ООО «Евразийское Научное Содружество», 2015. С. 147-150.
3. Агроклиматические ресурсы Ставропольского края: Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
4. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва, 1975. 22 с.
5. Флора СССР: В 30 т. / Гл. ред. В.Л. Комарова; Ред. т. 20 Б.К. Шишкин, С.В. Юзепчук. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 20. 556 с.
6. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И.А. Губанов и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. Т. 3. 520 с.

Размножается посевом семян. Отмечается самосев. Повреждения грибковыми заболеваниями и вредителями не выявлены. Форма растения – шаровидная, широкообратно-яйцевидная. В озеленении может использоваться в миксбордерах, бордюрах, в одиночных и групповых посадках, в обрамлении малых архитектурных форм, растительных групп. Декоративен в течение вегетационного периода, максимальная декоративность достигается в период цветения. Цветение отмечено в июне-июле, продолжительность – до 4-5 недель. После срезки травы возможно повторное слабое цветение.

#### Выводы

Научные исследования, проводимые на базе Ставропольского ботанического сада, позволяют рекомендовать изученные виды семейства яснотковые для выращивания в температурном диапазоне от  $-31^{\circ}\text{C}$  в зимний период, до  $+39,7^{\circ}\text{C}$  летом, при среднегодовом количестве осадков 630 мм. Проведенные наблюдения и описание дают возможность применять растения оптимально, максимально выгодно представив в озеленении, используя сведения о биологических особенностях их выращивания и размножения. Безусловно, в сравнении с большинством травянистых декоративных однолетников и многолетников лекарственные растения являются менее декоративными, но их преимущество состоит в эфирных маслах, которые растения продуцируют и выделяют в атмосферу, обогащая воздух фитонцидами и оздоравливая его, что в современных реалиях представляет особый интерес.

#### References

1. Peshchanskaya E.V. Ocenka perspektivnosti nekotoryh vidov semejstva *Lamiaceae* Lindl v usloviyah Stavropol'skoj vozvyshennosti // Prirodobustrojstvo. 2022. № 3. S. 122-128.
2. Peshhanskaya E.V. Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti nekotoryx vidov semejstva *Lamiaceae* Lindl., ispolzuemyx dlya sozdaniya ozdorovitelnyx zon // Mat-ly X mezhdun. nauchno-prakt. konf. «Otechestvennaya nauka v epoxu izmenenij: postulaty proshlogo i teorii novogo vremeni» – Ekaterinburg: ООО «Evrazijskoe Nauch. Sodruzhestvo», 2015, Ch. 2. S. 147-150.
3. Agroklimaticheskie resursy Stavropolskogo kraja. L.: Gidrometeoizdat, 1971. 238 s.
4. Metodika fenologicheskix nablyudenij v botanicheskix sadax SSSR. Moskva. 1975. 22 s.
5. Flora SSSR: v 30 t. / nachato pri ruk. i pod gl. red. V.L. Komarova. / red. toma Shishkin B.K., Yuzepchuk S.V. M. – L.: Izd-vo AN SSSR, 1954., T. 20. 556 s.
6. Gubanov I.A. i dr. Illyustrirovannyj opredelitel rastenij Srednej Rossii. Pokrytosemnyye (dvudolnye: razdelnolepestnye). M.: T-vo nauch. izd. KMK, In-t technolog. issl., 2004. T. 3. 520 s.

7. Атлас лекарственных растений России / Ред. В.А. Быков, Л.Н. Зайко, Н.Т. Конон и др. М., 2006. 352 с.

8. Киселева Т.М., Шабалина И.А. Продуктивность, ресурсы и эколого-ценотическая характеристика лекарственных растений Советского и Лебяжского районов Кировской области. Промысловая оценка и освоение биологических ресурсов. Киров, 1988. С. 95-100.

9. Губанов В.Г. Биологические особенности и агротехника возделывания иссопа обыкновенного (*Hyssopus officinalis*) в условиях Северного Зауралья: Дис. ... канд. с.-х. наук. Тюмень, 1999. 180 с.

10. Кухарева Л.В., Геронтопротекторные вещества иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis*) и многоколосника морщинистого (*Agastache rugosa*) / Попов Е.Г., Гиль Т.В., Луу А.Д. и др. // Вестник фонда фундаментальных исследований. 2016. № 4 (78). С. 21-31

11. Кузнецова Н.М. Биоморфологические особенности и сырьевая продуктивность видов рода Котовник (*Nepeta* L.) в условиях Ленинградской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. СПб., 2012. 18 с.

12. Ломакина Л.Г. Лаванда, мята, мелиса и другие целебные растения: Ростов-на-Дону: «Феникс», 2002. 160 с.

13. Железнов П.А., Куколев П.А. Роза, лаванда и шалфей мускатный. Симферополь: Крымиздат, 1948. 64 с.

14. Вермейлен Н. Полезные травы: Иллюстрированная энциклопедия: Пер. с англ. Б.Н. Головкина. М.: Лабиринт Пресс, 2002. 320 с.

15. Лапина А.С., Варина Н.Р., Куркин В.А., Авдеева Е.В. и др. Монарда дудчатая как перспективный источник получения лекарственных препаратов // Сборник научных трудов / Государственный Никитский ботанический сад, Ялта: ГНБС, 2018. Т. 146. С. 175-178.

16. Пояркова Н.М., Чулкова В.В., Сапарклычева С.Е. Мята перечная (*Mentha piperita* L.) – важнейшее эфирномасличное растение // Вестник биотехнологии. 2020. № 1 (22). С. 12.

17. Журтова З.Х. Мята перечная – лекарственное растение // Студенческая наука – агропромышленному комплексу: Научные труды студентов Горского ГАУ. Владикавказ, 2020. Т. 57. Ч. 1. С. 144-145.

18. Battistutta F., Candido E., Ciola L., Giomo A., Comi G., Conte L.S., Zironi R. Valutazione delle attività antiossidanti ed antimicrobiche degli oli essenziali di *Salvia officinalis* e di *Thymus vulgaris* // Atti del Convegno inter «Coltivazione e miglioramento di piante officinali». Trento, 1996. Pp. 481-486.

19. Найда Н.М., Лунина Н.Ф. Исследование биоморфологических и онтогенетических особенностей двух видов семейства яснотковых (*Lamiaceae*) // Известия СПбГАУ. 2015. № 39. С. 14-24.

#### Сведения об авторе

Екатерина Владимировна Пещанская, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительности; ekaterina108@mail.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Пещанская Е.В. выполнила теоретические и практические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 28.05.2024

7. Atlas lekarstvennykh rastenij Rossii. Red. By'kov V.A., Zajko L.N., Konon N.T. i dr. M., 2006. 352 s.

8. Kiseleva T.M.; Shabalina I.A. Produktivnost, resursy i ekologo-cenoticheskaya charakteristika lekarstvennykh rastenij Sovetskogo i Lebyazhskogo rajonov Kirovskoj oblasti. Promy'sl. ocenka i osvoenie biol. resursov. Kirov, 1988. S. 95-100.

9. Gubanov V.G. Biologicheskie osobennosti i agrotexnika vozdelevaniya issopa obyknovennogo (*Hyssopus officinalis*) v usloviyax Severnogo Zauralya. Dis. na soisk. uch. st. kand. selxoz. nauk Tyumen, 1999. 180 s.

10. Kuxareva L.V., Popov E.G., Gil T.V., Luu A.D., Bui X.V., Nin B.X., Tu N.B., Titok V.V. Gerontoprotektoynye veshhestva issopa lekarstvennogo (*Hyssopus officinalis*) i mnogokolosnika morshhinistogo (*Agastache rugosa*) / Vestnik fonda fundamentalnykh issledovaniy. 2016. № 4 (78). S. 21-31.

11. Kuznecova N.M. Biomorfologicheskie osobennosti i syrevaya produktivnost vidov roda Kotovnik (*Nepeta* L.) v usloviyax Leningradskoj oblasti. Avtoref. dis. na soisk. uch. st. kand. s.-x. nauk / Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. S.-Pb., 2012. 18 s.

12. Lomakina L.G. Lavanda, myata, melisa i drugie celebnye rasteniya. Rostov-na-Donu, «Feniks», 2002. 160 s.

13. Zheleznov P.A., Kukolev P.A. Roza, lavanda i shalfej muskatnyj. Simferopol, 1948. 64 s.

14. Vermejlen N. Poleznye travy. Illyustrirovannaya enciklopediya / Per. s ang. B.N. Golovkina. M.: Labirint Press, 2002. 320 s.

15. Lapina A.S.; Varina N.R.; Kurkin V.A.; Avdeeva E.V.; Ryazanova T.K.; Ryzhov V.M., Ruzaeva I.V. Monarda dudchataya kak perspektivnyj istochnik polucheniya lekarstvennykh preparatov // Sb. nauch. tr. GNBS / Gos. Nikit. botan. sad. Yalta, 2018; T. 146. S. 175-178.

16. Poyarkova N.M., Chulkova V.V., Saparklycheva S.E. Myata perechnaya (*Mentha piperita* L.) – vazhnejshee efirmaslichnoe rastenie / Vestnik biotexnologii. 2020. № 1 (22). S. 12.

17. Zhurtova Z.X. Myata perechnaya – lekarstvennoe rastenie / Nauch. tr. studentov Gorskogo gosudarst. agrar. universit. "Studentcheskaya nauka – agropromyshlennomu kompleksu". Vladikavkaz, 2020. S. 144-145.

18. Battistutta F.; Candido E.; Ciola L.; Giomo A.; Comi G.; Conte L.S.; Zironi R. Valutazione delle attività antiossidanti ed antimicrobiche degli oli essenziali di *Salvia officinalis* e di *Thymus vulgaris* / Atti del Convegno intern. "Coltivazione e miglioramento di piante officinali". Trento, 1996. P. 481-486.

19. Najda N.M.; Lunina N.F. Issledovanie biomorfologicheskix i ontogeneticheskix osobennostej dvux vidov semejstva yasnotkovyx (*Lamiaceae*) / Izv. S.-Peterb. gos. agrar. un-ta. S.-Pb., 2015; N39. S. 14-24.

#### About the authors

Ekaterina V. Peshchanskaya, candidate of biological sciences, senior researcher; ekaterina108@mail.ru

Peschanskaya E.V. performed theoretical and practical research, on the basis of which she summarized and wrote a manuscript, she has a copyright for the article and is responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-125-133>

УДК 630\*228.12:630\*907.2



## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ГОРОДСКИХ ЛЕСАХ ГОРОДА ТЮМЕНЬ (НА ПРИМЕРЕ ПАРКА «ГИЛЁВСКАЯ РОЩА»)

А.В. Данчева<sup>1✉</sup>, С.В. Залесов<sup>2</sup>, В.В. Назарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственный аграрный университет Северного Зауралья; 425003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет; 620110, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Россия

**Аннотация.** Целью исследований явилась разработка предложений по сохранению уникальных сосновых насаждений, произрастающих в парке «Гилёвская роща», на основе анализа их современного состояния. Приведены данные анализа современного состояния сосновых древостоев парка «Гилёвская роща» города Тюмень, полученные с учетом санитарного состояния, наличия повреждений деревьев и их относительного жизненного состояния. По анализируемым показателям состояние сосняков на всех временных пробных площадях оценивается как ослабленное. Получены данные о том, что усиление рекреационного воздействия приводит к снижению количества здоровых и увеличению доли сильно ослабленных и отмирающих деревьев. Наименьшими диаметрами и объемными показателями характеризуются сильно ослабленные и усыхающие по состоянию деревья. Установлено, что наиболее часто у деревьев встречаются механические повреждения, а также смолотечение. Зафиксирована зависимость трехкратного увеличения механических повреждений на стволах деревьев, произрастающих в зоне активного посещения, по сравнению с зоной слабого посещения. На снижение жизненного состояния сосновых древостоев парка «Гилёвская роща» существенное влияние оказывает возраст, по которому древостои характеризуются как перестойные. Усугубляет этот процесс факт длительного использования данных насаждений в целях рекреации (более 50 лет). Для предотвращения деградации насаждений в парке «Гилёвская роща», а также для повышения устойчивости сосняков предложен ряд лесохозяйственных мероприятий – в частности, уборка ослабленных, отстающих в росте деревьев потенциального отпада, а также поврежденных, аварийных и эстетически непривлекательных деревьев в процессе проведения ландшафтных рубок. Заслуживает внимания использование для расширения биологического разнообразия древесных интродуцентов и проведение мероприятий по ограничению перемещения рекреантов – в частности, создание посадок кустарников вдоль тропинойной сети.

**Ключевые слова:** городские леса, сосновый древостой, рекреационное воздействие, жизненное состояние древостоев

**Формат цитирования:** Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Анализ состояния сосновых древостоев в городских лесах города Тюмень (на примере парка «Гилёвская роща») // Природообустройство. 2024. № 3. С. 125-133. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-125-133>

Original article

## ASSESSMENT OF THE CONDITION OF PINE STANDS IN THE URBAN FORESTS OF THE CITY OF TYUMEN (ON THE EXAMPLE OF THE PARK “GILEVSKAYA ROSHCHA”)

A.V. Dancheva<sup>1✉</sup>, S.V. Zalesov<sup>2</sup>, V.V. Nazarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (FSBEI HE) «Northern Trans-Urals State Agricultural University», 625003, Russia, Tyumen Region, Tyumen, Republiki Str., 7, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (FSBEI HE) «Ural State Forest Engineering University», 620100, The Russian Federation, Ekaterinburg, st. Sibirsky tract, 37, Russia

**Abstract.** The purpose of the work is to develop proposals for the preservation of unique pine plantations growing in the Gilevskaya Roshcha Park based on the analysis of their current state. The data of the analysis of the current state of pine stands in the park “Gilyovskaya Roshcha” of the city of Tyumen, obtained taking into account the sanitary condition, the presence of damage to trees and their relative vital condition, are presented. According to the analyzed indicators, the condition of pine

forests on all temporary sample plots is assessed as weakened. Data have been obtained that increased recreational impact leads to a decrease in the number of healthy trees and an increase in the proportion of severely weakened and dying trees. The smallest diameters and volume indicators are characterized by severely weakened and drying trees. It has been established that mechanical damage, as well as tar flow, are most common in trees. The dependence of a threefold increase in mechanical damage on tree trunks growing in the zone of active visits compared to the zone of low visits was recorded. The decrease in the vital condition of pine stands in the Gilevskaya Roshcha Park is significantly influenced by the age by which the stands are characterized as overmature. This process is aggravated by the fact of long-term use of these plantations for recreation purposes – more than 50 years. To prevent the degradation of plantations in the Gilev Roshcha Park, as well as to increase the stability of pine forests, a number of forestry measures have been proposed, in particular, the removal of weakened trees lagging behind in the growth of potential falloff, as well as damaged, emergency and aesthetically unattractive trees in the process of landscape felling. The use of tree introductions for the expansion of biological diversity and the implementation of measures to limit the movement of recreationists, in particular, the creation of plantings of shrubs along the path network, deserve attention.

**Keywords:** urban forests, pine forests, recreational impact, vital state of forest

**Format of citation:** Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V. Assessment of the condition of pine stands in the urban forests of the city of Tyumen (on the example of the park “Gilevskaya Roshcha”) // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 125-133. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-125-133>

**Введение.** Создание комфортной, качественной для проживания городской среды в условиях современного градостроительства является первоочередной задачей при решении вопросов озеленения населенных пунктов [1, 2]. В наибольшей степени созданию условий для отдыха населения способствуют городские леса, что объясняет их рекреационное значение.

Лесные экосистемы, являющиеся частью зеленых зон и городских лесов крупных городов, характеризуются особенно тесными связями с ними (экономическими, социальными, экологическими) [3-5]. Для обеспечения эффективного выполнения ими экологических функций, адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды необходимо их соответствующая систематизированная организация. Лесные насаждения могут быть достаточно декоративными и биологически устойчивыми только тогда, когда адаптированы к конкретным условиям произрастания. Повсеместное интенсивное старение лесов, трансформация их в более упрощенные по составу и структуре сообщества ведут к деградации почв, снижению продуктивности и биологического разнообразия.

Отмечаемое в последнее время увеличение численности населения больших городов обуславливает необходимость расширения рекреационных площадей включая территории лесных насаждений в черте города [2, 6-8]. При этом остается значимым вопрос сохранения и повышения продуктивности этих лесов, заключающийся в улучшении выполнения ими экологических функций (средорегулирующих, средообразующих, водоохраных и т.д.). Решение данного

вопроса заключается в проведении лесоводственных мероприятий по обновлению и улучшению породного состава лесных насаждений, учитывающих региональную специфику природных условий на зонально-типологической основе.

Активное использование лесных насаждений городских лесов приводит к ускорению процессов их деградации, росту числа нарушений лесного и природоохранного законодательства [9-11]. Сохранение устойчивости и повышение рекреационного потенциала рекреационных лесов являются важной задачей в направлении оптимизации их использования, охраны и защиты.

Общеизвестны и научно подтверждены адаптационные особенности семейства сосновых к различного рода факторам природного и антропогенного характера и площади освоенной территории [12-14]. Научно доказано, что по ряду биологических свойств сосна представляет собой устойчивую к различным воздействиям породу, долговечную и эстетически привлекательную с рекреационной точки зрения. Высокая степень приспособляемости сосны обыкновенной подтверждается шириной ее ареала.

Являясь одной из основных лесообразующих пород Тюменской области и занимая наибольшую по площади территорию большинства парков г. Тюмени, сосна остается перспективной в озеленении и ландшафтном планировании территорий городских застроек.

Отсутствие достаточно точных современных данных, их систематизации и обобщения для анализа состояния городских лесов г. Тюмени создает необходимость изучения особенностей

роста и развития древостоев в условиях городской агломерации и разработки системы мероприятий для обеспечения устойчивости и рекреационной привлекательности сосновых насаждений.

**Цель исследований:** разработка предложений по сохранению уникальных сосновых насаждений, произрастающих в парке «Гилёвская роща» на основе анализа их современного состояния.

**Материалы и методы исследований.** Работы проводились в лесном парке «Гилёвская роща», относящемся к городским лесам г. Тюмени. Современные границы парка включают в себя территорию в восточной части г. Тюмени (рис. 1). Его площадь составляет 79,9 га, из них покрыто лесной растительностью 62,0 га.

На территории парка доминируют насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.). При этом сосновые насаждения занимают до 70% от покрытой лесной растительностью площади.

История парка «Гилёвская роща» насчитывает более 200 лет. Парк получил название от расположенной вблизи него деревни Гилёво, которая была названа в честь одного из местных купцов. Купец Гилёв владел лучшим в Тобольской губернии колокольным заводом [15, 16].

Период начала активного использования территории парка для общественного отдыха начался с первой половины прошлого столетия. В военное время (1941-1945 гг.) насаждения парка «Гилёвская роща» служили местом заготовки топлива. В основном вырубались самые крупные деревья сосны в северной и северо-западных частях парка. В тот период покрытая лесной растительностью площадь уменьшилась на 30%. Статус парка Гилёвская роща приобрела в 1980 г., оставаясь при этом как городские леса,

находящиеся в ведении ИКУ «ЛесПаркХоз». Однако ввиду недостатка финансирования парк запустел, и его второе рождение началось только в 2015-2016 гг. С 2017 г. парк «Гилёвская роща» стал функционировать как благоустроенное место отдыха для населения и туристов [15].

В настоящее время парк представлен преимущественно 100-летними сосновыми насаждениями с густым подлеском из черемухи, малины и шиповника. В северо-западной части лесопарка, на территории сосновых насаждений, активно используемых в военный период в качестве источника дров, произошла смена пород с образованием березовых насаждений [17].

Исследования выполнялись на двух временных пробных площадях (ВПП) (рис. 2). При подборе участков для закладки ВПП учитывали удаленность их от мест массового отдыха, а также наличие тропинок и площади, вытоптанной до минерального слоя почвы [18, 19]. В соответствии с принятым методическим подходом ВПП-1 (условно – контроль) заложена в зоне слабого посещения. ВПП-2 заложена в более посещаемом рекреантами насаждении, относящемся к зоне активного отдыха, что четко прослеживается на рисунке 2.

ВПП-1 представлена, как отмечено выше, сосновым насаждением с обильным подлеском из яблони лесной (*Malus silvestris* (L.) Mill.), клена ясенелистного (*Acer negundo* L.), черемухи обыкновенной (*Padus racemosa* (Lam.) Gilib.), дерена белого (*Cornus alba* L.), малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.), розы иглистой (*Rosa ocicularis* Lindl.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), жимолости обыкновенной (*Lonicera xylosteum* L.), калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.). В подросте, помимо сосны обыкновенной, встречаются экземпляры березы повислой и осины (*Populus tremula* L.). В живом напочвенном покрове (ЖНП) имеют место

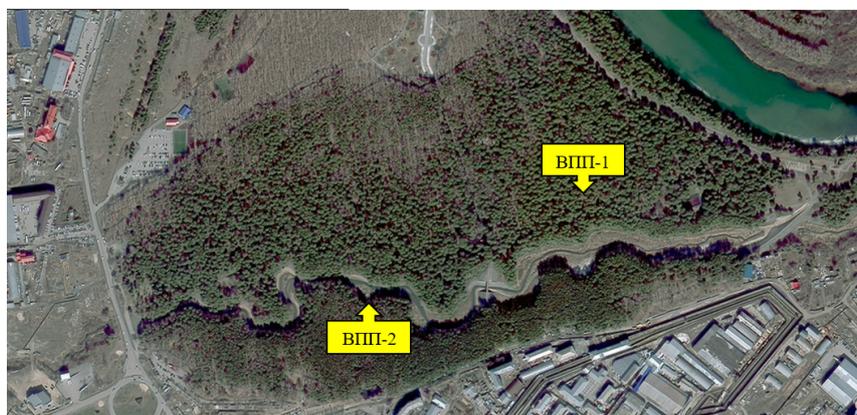


Рис. 1. Расположение парка «Гилёвская роща» и заложенных в нем пробных площадей  
Fig. 1. Location of the Gilevskaya Roshcha Park and the trial areas laid out in it



а



б

Рис. 2. Внешний вид сосновых насаждений в парке «Гилёвская роща»: а) ВПП-2 (в зоне активного посещения); б) ВПП-1 (зона контроля)

Fig. 2. Appearance of pine plantations in the park “Gilevskaya Roshcha”: ТТА –2 (in the area of active visits); б) ТТА-1 (control zone)

клевер средний (*Trifolium medium* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth.), воронец красноплодный (*Actaea erythrocarpa* Fisch.), гравилат городской (*Geum urbanum* L.), купена лекарственная (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druc.). Тип ландшафта, представленный на ВПП-1, является закрытым.

ВПП-2 представлена ландшафтом полуоткрытого типа с наличием под пологом изреженного соснового насаждения бытового мусора. Подлесок редкий, представлен малиной обыкновенной, розой иглистой, иргой колосистой (*Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch.), черемухой обыкновенной, рябиной обыкновенной, жимолостью обыкновенной. В ЖНП представлены преимущественно сорные виды – такие, как пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.). Из лесных видов встречаются сныть обыкновенная (*Aegorodium podagraria* L.), воронец красноплодный, орляк широкооватый (*Pteridium latiusculum* (Desv.) Hieron ex Fries.).

При сборе и обработке полевых материалов использовались апробированные методики [18, 19]. На ВПП произведен сплошной пересчет всех деревьев с измерением их диаметра на высоте 1,3 м и высот. Каждому дереву дана оценка санитарного и жизненного состояния, а также рассчитана относительная высота деревьев. Всего обмерено 337 деревьев.

У каждого дерева определялась категория санитарного состояния в соответствии с требованиями действующего нормативного документа [20]. Затем по запасу деревьев каждой категории санитарного состояния устанавливалась средневзвешенная категория для древостоя. При значении последней от 1,0 до 1,5 древостой

характеризовался как здоровый, при значении 1,6-2,5 – как ослабленный, при значении 2,6-3,5 – как сильно ослабленный, при значении 3,6-4,5 – как отмирающий, а при более крупном значении – как отмерший.

По наличию повреждений на стволах деревьев и показателям ассимиляционного аппарата определялось жизненное состояние деревьев и древостоев. При оценке древостоя по указанному показателю он считался здоровым при значении жизненного показателя более 80%, при значении 50-79% древостоя считался ослабленным, при значении 20-49% – сильно ослабленным, а если показатель был ниже 20% – полностью разрушенным.

При определении относительной высоты значение фактической высоты, выраженное в сантиметрах, делилось на значение диаметра ствола на высоте 1,3 м, также выраженное в сантиметрах. Если полученное при делении значение было более 100, состояние дерева или древостоя оценивалось как ослабленное.

Для определения достоверности различий в распределении деревьев по диаметру и жизненному состоянию на участке с рекреационной нагрузкой по сравнению с контрольным участком был применен критерий Колмогорова-Смирнова ( $\lambda_{эмт}$ ). Критическое значение  $\lambda$ , соответствующее уровню значимости 0,05, равно 1,36. Значит, если значение  $\lambda_{эмт} \geq 1,36$ , различия между выборками достоверны при уровне надежности 95% (нулевая гипотеза отклоняется).

При осуществлении статистического анализа диаметры деревьев были сгруппированы по 2-сантиметровым ступеням толщины, высота – по группам с шагом в 1 м (14,0-14,9; 15,0-15,9 м и т.д.), а значения жизненного состояния деревьев – по группам с шагом в 5% (40-44, 45-49, 50-54% и т.д.).

**Результаты и их обсуждение.** На основании собранных и обработанных материалов были получены таксационные показатели древостоев на ВПП, приведенные в таблице 1.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что древостой ВПП-2 и ВПП-1 существенно различаются по своим таксационным показателям, несмотря на одинаковое происхождение, близкий состав и даже близкие значения относительной полноты. Класс бонитета на ВПП-1 – второй, а на ВПП-2 – третий.

На ВПП-1, выполняющей роль контроля, густота древостоя в 3,1 раза ниже таковой на ВПП-2. Следовательно, деревья на контроле имеют большую площадь роста, что отразилось на среднем диаметре, который составляет 51,2 см при 26,6 см в зоне активного отдыха на ВПП-2.

Сухостойные деревья встречаются в незначительном количестве только на контрольном участке. При этом их средние значения

диаметра и высоты составляют 27,0 см и 19,0 м соответственно. Объяснением отсутствия сухостоя на рекреационном участке является факт их своевременной уборки. В зоне активного посещения сухостойные деревья представляют большую опасность для отдыхающих, что и вызывает необходимость их уборки. Кроме того, древостой в контрольной зоне на 2 класса старше, чем в зоне активного отдыха, что не может не сказаться на его состоянии.

Результаты расчета критерия Колмогорова-Смирнова приведены в таблице 2.

Эмпирические значения критерия Колмогорова-Смирнова ( $\lambda_{эмп}$ ) показывают, что распределение данных в контрольной и рекреационной группах статистически значимо различается по всем проанализированным показателям.

По показателям жизненного и санитарного состояния сосновый древостой на обеих ВПП характеризуется как ослабленный (табл. 1),

**Таблица 1. Характеристика сосновых древостоев на ВПП в парке «Гилевская роща»**

**Table 1. Characteristics of pine stands on the TTA in the Gilevskaya Roshcha Park**

№ п/п Item No	Показатель Indicator	ВПП-1 TTA-1	ВПП-2 TTA-2
1	Состав древостоя / Composition of the forest stand	10СедБ	9С1Б
3	Класс возраста / Class of age	VIII	VI
4	Средний диаметр, на высоте 1,3 м / Average diameter, on the height 1.3 m	51,2	26,6
5	Средняя высота, м / Average height, m	27,0	24,2
6	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га / Absolute thickness, m <sup>2</sup> /ha	46,3	28,9
7	Относительная полнота / Relative thickness	1,0	0,9
8	Запас, м <sup>3</sup> /га всего, / в том числе: / Reserve, m <sup>3</sup> /ha total, including:	561	432
9	Растущих деревьев, м <sup>3</sup> /га / growing trees, m <sup>3</sup> /ha	557	432
10	Сухостоя, м <sup>3</sup> /га / dry trees, m <sup>3</sup> /ha	4	-
11	Класс бонитета / Bonitet class	II	III
12	Густота, шт./га всего / в том числе / Denseness, pcs / ha total / Including	225	700
13	Сухостоя, шт./га / dead wood, pieces / ha	2	-
14	Категория санитарного состояния	2,0	2,2
15	Показатель относительного жизненного состояния, % Indicator of the relative living state	68,0	66,3
16	Относительная высота / Relative height	1,9	2,1

**Таблица 2. Результаты расчета критерия Колмогорова-Смирнова**

**Table 2. Results of calculating the Kolmogorov-Smirnov criterion**

Показатель Indicator	Критическое значение при уровне значимости $p \leq 0,05$ Critical value at the significance value $p \leq 0,05$	$\lambda_{эмп}$	Достоверность различий Validity of differences
Распределение деревьев по диаметру на высоте 1,3 м Distribution of trees according to diameter on the height 1.3 m	1,36	7,25	Да Yes
Распределение деревьев по высоте Distribution of trees according to height		5,57	Да Yes
Распределение деревьев по жизненному состоянию Distribution of trees according to the living state		1,80	Да Yes

по среднему значению показателя относительной высоты древостой оценивается как устойчивый.

Несмотря на сравнительно одинаковые значения показателя жизненного состояния, отмечаются различия в соотношении различных по состоянию деревьев (рис. 3, 4). Во всех древостоях по количеству преобладают ослабленные деревья – до 80%. При этом на ВПП-2 (в зоне активного посещения) их количество на 10% превышает аналогичный показатель на ВПП-1 (в зоне слабого посещения). Количество здоровых деревьев на ВПП-1 почти в 3 раза больше в сравнении с ВПП-2 (зона активного посещения). При этом количество сильно ослабленных и усыхающих деревьев на ВПП-2 в среднем в 3-13 раз больше, чем на ВПП-1.

В зоне слабого посещения присутствие в составе древостой сухостойных экземпляров существенно влияет на снижение общего значения жизненного состояния древостой. На снижение

среднего значения жизненного и санитарного состояния сосняков на анализируемых ВПП может оказывать влияние возраст древостоев, поскольку по данному показателю исследуемые сосновые древостой характеризуются как перестойные с естественным процессом ослабления состояния. Последнее усугубляется в условиях городских лесов и длительного их использования в целях рекреации. В этой связи отмечается особенность соотношения объемных показателей и средних значений диаметров деревьев по категориям санитарного состояния. Сильно ослабленные и усыхающие деревья имеют минимальные значения объемных показателей.

Сухостойные деревья на ВПП-1 (в зоне активного посещения) характеризуются наименьшими диаметрами по сравнению с данным параметром в других категориях состояния. Следовательно, рекреационные нагрузки наибольшее негативное воздействие оказывают

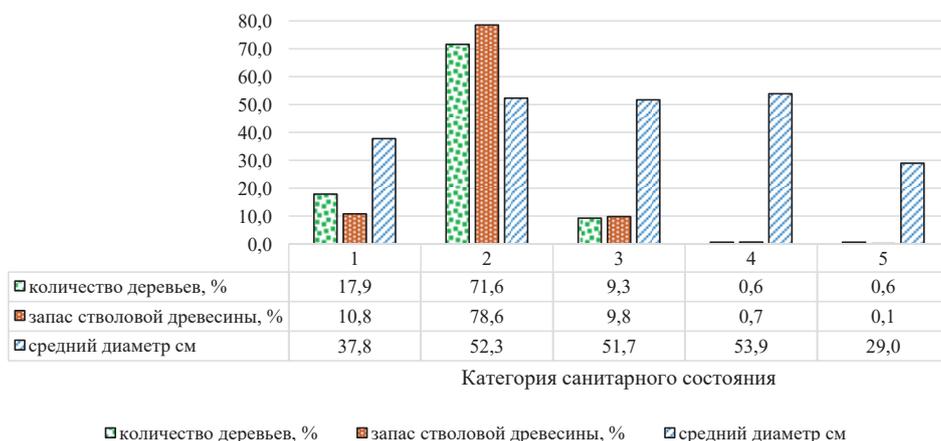


Рис. 3. Соотношение количества деревьев, их объемов и средних значений диаметров в каждой категории санитарного состояния на ВПП-1 (условно – контроль)

Fig. 3. Ratio of the number of trees, their volumes and average diameter values in each category of sanitary condition on TTA –1 (conditionally control)

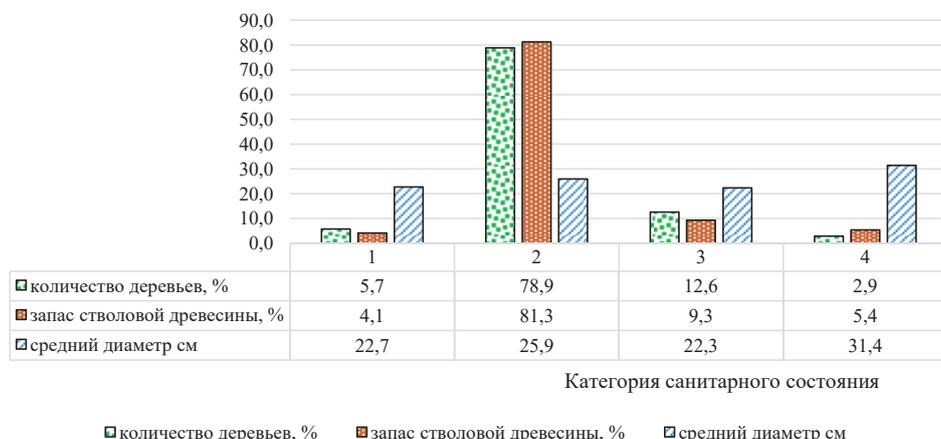


Рис. 4. Соотношение количества деревьев, их объемов и средних значений диаметров в каждой категории санитарного состояния на ВПП-2 (зона активного посещения)

Fig. 4. Ratio of the number of trees, their volumes and average diameters in each category of sanitary condition on TTA –2 (active visiting zone)

на мелкие по диаметру деревья, что приводит к более быстрому процессу их ослабления, дегенерации и гибели.

В ходе исследований оценена степень поврежденности деревьев при разной интенсивности рекреационного воздействия. Наибольшими по количеству поврежденных деревьев сосны на обеих ВПП являются механические повреждения и раздвоение кроны. С увеличением степени

рекреационного воздействия наблюдается увеличение количества деревьев с механическими повреждениями и признаками смолотечения стволов в среднем в 3-4 раза, а также отмечается появление деревьев с признаками смоляного рака. В зоне слабого посещения отмечается увеличение в 1,53 раза количества деревьев с морозобойными трещинами, раздвоенными кронами и суховершинными деревьями (рис. 5).

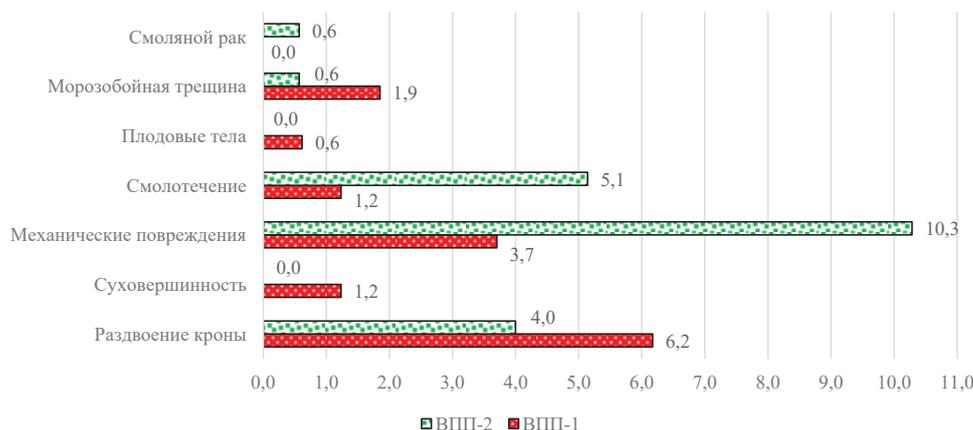


Рис. 5. Соотношение видов повреждений деревьев в сосновых насаждениях в зависимости от степени рекреационного воздействия

Fig. 5. Ratio of types of tree damage in pine plantations depending on the degree of recreational impact

### Выводы

1. Обследование сосновых древостоев парка «Гилёвская роща» показало, что произрастающие здесь древостои характеризуются как ослабленные.

2. Увеличение рекреационных нагрузок способствует увеличению доли сильно ослабленных и усыхающих деревьев и снижению устойчивости древостоя в целом.

3. Наименьшими диаметрами характеризуются сильно ослабленные и усыхающие по состоянию деревья.

4. На снижение жизненного состояния сосновых насаждений парка «Гилёвская роща» существенное влияние оказывает возраст древостоев. Усугубляет ситуацию длительное использование (в течение 50 лет) данных насаждений в целях рекреации.

### Список использованных источников

1. Бунькова Н.П., Микеладзе Ш.Э., Фефелова И.А. Разнообразие типов леса в лесных парках г. Екатеринбурга // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 5-2 (119). С. 29-34. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.004.

2. Фарбер С.К., Кузьмик Н.С., Горяева Е.В. Экологическая значимость лесов курортной зоны озера Учум: оценка ущерба от пожара // Сибирский лесной журнал. 2022. № 4. С. 26-34. DOI: 10.15372/SJFS20220403.

3. Струк М.И., Живнач С.Г. Приоритетные направления долгосрочного планирования природных экосистем пригородной территории

4. Анализ видов повреждений стволов деревьев показал, что наиболее частыми являются механические повреждения стволов и смолотечение. При этом деревья с плодовыми телами грибов зафиксированы только в зоне слабого посещения.

5. В качестве мероприятий по повышению рекреационной устойчивости сосняков можно рекомендовать организацию в парке дорожно-тропиночной сети с покрытием, минимизирующим негативное воздействие рекреантов на почву и корневые системы деревьев, а также проведение рубок перестройки, направленных на омоложение древостоев и улучшение санитарного состояния.

### References

1. Bunkova N.P. Different types of forests in forest parks of Yekaterinburg / N.P. Bunkova, Sh.E. Mikeladze, I.A. Fefelova // International Research Journal, 2022, no. 5-2 (119). P. 29-34. DOI 10.23670/IRJ.2022.119.5.004.

2. Farber S.K., Kuzmik N.S., Goryaeva E.V. Environmental value of forests of the Uchum Lake resort zone: fire damage assessment // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 4. P. 26-34. DOI 10.15372/SJFS20220403.

3. Struk M.I. Priority directions for long-term planning of natural ecosystems in the suburban area of Minsk / M.I. Struk, S.G. Zhivnach // Prirodoobustroistvo. 2022. No. 2. – P. 157-170. DOI 10.47612/2079-3928-2022-2-157-170.

Минска // Природопользование. 2022. № 2. С. 157-170. DOI: 10.47612/2079-3928-2022-2-157-170.

4. **Одноралов Г.А.** Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 2. С. 60-72. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72.

5. **Зальвская О.С., Бабич Н.А.** Оценка декоративности насаждений // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 6 (378). С. 98-110. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110.

6. **Юшкевич Н.Т., Козорез А.И.** Лесная рекреация как экономически привлекательный и самостоятельный вид лесопользования // Труды БГТУ. Серия «Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов». 2022. № 2 (258). С. 119-124.

7. **Шихова Н.С.** Оценка функциональной эффективности древесно-кустарниковых видов в городском озеленении на примере Владивостока // Лесоведение. 2023. № 3. С. 277-289. DOI: 10.31857/S0024114823030105.

8. **Соломенцева А.С.** Состояние древесных растений на объектах защитного лесоразведения и озеленения Калачевского района Волгоградской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 5. С. 58-72. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-58-72>.

9. **Данчева А.В.** Рациональное лесопользование с основами таксации леса. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. 100 с.

10. **Морозов А.Е.,** Проблемы рекреационного использования лесов природного парка «Самаровский чугас» / Заболотных Е.Н., Чертов А.А., Карташова Т.Ю. // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 2 (85). С. 33-41. DOI: 10.51318/FRET.2023.12.75.004.

11. **Примаков Н.В.** Перспективность применения древесно-кустарниковых растений в озеленении города Краснодар // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 1. С. 98-109. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-98-109.

12. **Данчева А.В.** Оценка эффективности рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника на основе лесоводственного и древесно-кольцевого анализа / Гурская М.А., Залесов С.В., Муканов Б.М. // Лесоведение. 2020. № 6. С. 503-514. DOI: 10.31857/S0024114820060030.

13. **Демидова Н.А.** Представители семейства сосновые (Pinaceae Lindl.) североамериканской флоры в коллекции дендрологического сада ФБУ «СевНИИЛХ» / Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Васильева Н.Н. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 36-54. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-36-54.

14. Пережил коммунальное ЧП и забвение в перестройку: как лес тюменских купцов стал модным парком. 2021. – URL: <https://72.ru/text/gorod/2021/08/06/70056443/> (дата обращения: 14.05.2023).

15. **Иваненко А.** Гилёвская роща много лет спустя // Тюменский курьер. 2014. № 102 (3847). С. 14.

16. Гилёвская роща. 2017. URL: <https://gorod-t.info/space/parki-i-skvery/432/> (дата обращения: 14.05.2023).

17. **Данчева А.В., Залесов С.В., Коровина В.С.** Оценка состояния сосновых древостоев в городских лесах города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 4. С. 293-299. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-4-293-299.

18. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 60 с.

4. **Odnoralov G.A.** Assessment of Urban Forest Biological Productivity (Case Study of the Voronezh Upland Oak Forest) / Russian Forestry Journal, 2020, no. 2. P. 60-72. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72.

5. **Zalyvskaya O.S., Babich N.A.** Assessment of Plantations Ornamentality. Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6. P. 98-110. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110.

6. **Yushkevich N.T., Kozorez A.I.** Forest recreation as an economically attractive and independent type of forest use. Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. // Processing of Renewable Resources, 2022, no. 2 (258). P. 119-124.

7. **Shikhova N.S.** Comparative assessment of the functional efficiency of arboriflora species composition in urban green spaces / Forestry, 2023, no. 3. P. 277-289. DOI 10.31857/S0024114823030105.

8. **Solomentseva A.S.** The Condition of Woody Plants at the Sites of Protective Afforestation and Landscaping of the Kalachevsky District, Volgograd Region. Russian Forestry Journal, 2022, no. 5. P. 58-72. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-58-72>.

9. **Dancheva A.V.** Rational forest management with the basics of forest taxation / A.V. Dancheva. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2023. – 100 p.

10. **Morozov A.E.** Problems of recreational use of natural park forests «Samarovskiy Chugas» / A.E. Morozov, E.N. Zabolotnykh, A.A. Chertov T.Yu. Kartashova // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 2. P. 33-41. DOI 10.51318/FRET.2023.12.75.004.

11. **Primakov N.V.** Prospects for Woody and Shrubby Plants in the Landscaping of Krasnodar. Russian Forestry Journal, 2022, no. 1. P. 98-109. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-98-109.

12. **Dancheva A.V.** Assessment of Cleaning Cuttings Efficiency in Pine Forests of Kazakhstan Hillocks Based on Forestry and Annual Rings Analyses/ A.V. Dancheva, M.A. Gurskaya, S.V. Zalesov, B.M. Mukanov // Forestry. 2020. No. 6. P. 503-514.

13. Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Vasiljeva N.N. Representatives of the Pine Family (Pinaceae Lindl.) of the North American Flora in the Collection of the Dendrological Garden named after V.N. Nilov (NRIF). Russian Forestry Journal, 2021, no. 4. P. 36-54. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-36-54.

14. Survived a communal emergency and oblivion in perestroika: how the forest of Tyumen merchants became a fashionable park, 2021. – URL: <https://72.ru/text/gorod/2021/08/06/70056443/> (accessed 05/14/2023)

15. **Ivanenko A.** Gilevskaya Roshcha many years later // Tyumen courier. – 2014. – N102 (3847) – 14 p.

16. Gilevskaya Roshcha, 2017. – URL: <https://gorod-t.info/space/parki-i-skvery/432/> (accessed 05/14/2023).

17. **Dancheva A.V.** Assessment of pine vital states in the urban forests of the Tyumen city (on the example of Zatyumensky ecopark) / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov, V.S. Korovina // Coniferous boreal zones. 2023, v. XXXXI, no. 4. P. 293-299. DOI 10.53374/1993-0135-2023-4-293-299.

18. OST 56-69-83 Forest management trial areas. The bookmark method. M., 1983. 60 p.

19. **Dancheva A.V.** Forest ecological monitoring / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov, A.S. Popov. Yekaterinburg: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher

19. Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Лесной экологический мониторинг: учебное пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 146 с.

20. Правила санитарной безопасности в лесах: утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047.

Education "Ural State Forest Engineering University", 2023. 146 p.

20. Rules of sanitary safety in forests: Approved By Decree of the Government of the Russian Federation No. 2047 dated December 9, 2020.

#### Об авторах

**Анастасия Васильевна Данчева**, д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики, Researcher ID: AAG-7263-2019, ORCID: 0000-0002-5230-7288, РИНЦ: Author ID: 841847; a.dancheva@mail.ru

**Сергей Вениаминович Залесов**, д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой лесоводства; Researcher ID: AAG-H-2605-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410X, РИНЦ: Author ID: 185418; zalesovsv@m.usfeu.ru

**Назарова Валентина Владимировна**, магистрант 1 года обучения, nazarova.vv.b23@mti.gausz.ru

#### About the authors

**Anastasiya V. Dancheva**, DSc (Agro), professor of the department of forestry, woodworking and applied mechanics; Researcher ID: AAG-7263-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410X, RSCI: Author ID: 185418; zalesovsv@m.usfeu.ru <https://orcid.org/0000-0002-5230-7288>

**Sergey V. Zalesov**, DSc (Agro), head of the department of forestry; Researcher ID: AAG-H-2605-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410X, RSCI: Author ID: 185418; zalesovsv@m.usfeu.ru

**Valentina V. Nazarova**, 1<sup>st</sup> year student of the magistrate; nazarova.vv.b23@mti.gausz.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.04.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.04.2024

Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья  
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-134-140>  
УДК 635.925: 58.006:581.543:



## ИНТРОДУКЦИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ КУСТАРНИКОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОЗЕЛЕНЕНИИ

Л.П. Чебанная

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, Россия

**Аннотация.** Цель исследований – обобщить результаты интродукции, отобрать наиболее устойчивые и высокодекоративные кустарники для расширения ассортимента в садово-парковом озеленении на Ставрополье. Объектом исследований послужила коллекция декоративных кустарников, насчитывающая 255 таксонов, культивируемых в Ставропольском ботаническом саду. Значительным количеством видов и сортов представлены роды: *Berberis* L., *Hydrangea* L., *Spiraea* L., *Weigela* Thunb. В результате интродукционного испытания выделен ассортимент видов и сортов, обладающих высокими декоративными качествами и адаптационными возможностями, для практического использования в новых условиях. Дана характеристика декоративных качеств, сроков цветения и периода общей декоративности в почвенно-климатических условиях Ставропольской возвышенности. По разнообразию декоративных особенностей ассортимент подразделен на красивоцветущие, декоративно-лиственные и красивоплодные кустарники. Основу коллекции составляют красивоцветущие кустарники, играющие важную роль в садово-парковых композициях. Привлечение садовых форм с оригинальной окраской листьев и плодов дает возможность увеличить общий декоративный эффект композиции на более продолжительный период. В коллекции 32% от всего состава занимают декоративно-лиственные кустарники. За многолетний период интродукции отобраны и успешно внедрены в садово-парковое строительство на Ставрополье около 100 высокодекоративных и устойчивых в местных условиях видов и сортов декоративных кустарников. Ассортимент устойчивых декоративных кустарников в регионе пополняется за счет селекции собственных сортов. В Государственный реестр селекционных достижений внесены два декоративно-лиственных сорта барбариса Тунберга: «Руслан» и «Стёпка» селекции Ставропольского ботанического сада.

**Ключевые слова:** кустарники, ассортимент, декоративный эффект, цветение, форма кроны, декоративные особенности, красивоплодный

**Формат цитирования:** Чебанная Л.П. Интродукция декоративных кустарников и перспективы их использования в озеленении // Природообустройство. 2024. № 3. С. 134-140. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-134-140>

Original article

## INTRODUCTION OF ORNAMENTAL SHRUBS AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN LANDSCAPING

L.P. Chebannaya

Federal state budget scientific institution «North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center»; 356241, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Russia

**Abstract.** The purpose of the study is to summarize the results of the introduction, to select the most stable and highly decorative shrubs to expand the assortment in landscape gardening in the Stavropol territory. The object of research was a collection of ornamental shrubs, numbering 255 taxa, cultivated in the Stavropol Botanical Garden. The following genera are represented by a significant number of species and varieties: *Berberis* L., *Hydrangea* L., *Spiraea* L., *Weigela* Thunb. As a result of the introduction test, an assortment of species and varieties with high decorative qualities and adaptive capabilities was identified for practical use in new conditions. The characteristics of decorative qualities, flowering periods and the period of general decorativeness in the soil and climatic conditions of the Stavropol Upland are given. According to the variety of decorative features, the assortment is divided into beautifully flowering, decorative deciduous and beautifully fruiting shrubs. The basis of the collection is made up of beautifully flowering shrubs that play an important role in landscape gardening compositions. Attracting garden forms with original colors of leaves and fruits makes it possible to increase the overall decorative effect of the composition for a longer period. In the collection,

32% of the total composition is occupied by decorative deciduous shrubs. Over a long period of introduction, about 100 highly decorative and locally resistant species and varieties of ornamental shrubs were selected and successfully introduced into landscape gardening in the Stavropol region. The range of resistant, ornamental shrubs in the region is expanding through the selection of its own varieties. Two decorative deciduous varieties of Thunberg barberry "Ruslan" and "Styopka", bred by the Stavropol Botanical Garden, were included in the State Register of Breeding Achievements.

**Keywords:** shrubs, decorative features, assortment, decorative effect, flowering, crown shape, beautifully fruitful

**Format of citation:** Chebannaya L.P. Introduction of ornamental shrubs and prospects for their use in landscaping // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 134-140. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-134-140>

**Введение.** Важнейшей задачей в области зеленого строительства и декоративного растениеводства является освоение растительных ресурсов отечественной и мировой флоры с целью обогащения используемого ассортимента декоративных растений в условиях конкретного региона [1]. Для создания устойчивых, долговечных и высокохудожественных садово-парковых композиций архитекторы и садоводы нуждаются в широком выборе саженцев древесных растений. Среди них особое место занимают кустарники. Они обладают целым набором декоративных качеств: красивый цветок или соцветие, контрастные по цвету, фактуре и форме листья, декоративные плоды, оригинальная архитектура. Понятие «декоративность растений» включает в себя разнообразные показатели, определяющие эстетическое воздействие растения на человеческое сознание [2].

Ассортимент декоративных кустарников, предлагаемый садовыми центрами, часто не соответствует климатическим условиям района интродукции. Мало используются неприхотливые дикорастущие виды, не менее декоративные, чем садовые формы. В связи с этим встает вопрос об изучении теоретических и практических вопросов интродукции декоративных кустарников, о поиске наиболее перспективных из них для использования в садово-парковом озеленении Ставропольского края.

Новизна исследований заключается в привлечении новых, декоративных видов и сортов кустарников, ранее не изученных в данной местности, для обогащения ассортимента в регионе и использования в селекционной работе.

**Цель исследований:** обобщить результаты интродукции, отобрать высокодекоративные и наиболее устойчивые в почвенно-климатических условиях Ставропольского края кустарники.

Исследования большой группы кустарников в коллекции ботанического сада позволили значительно расширить ассортимент зеленых насаждений на Ставрополье с учетом того, что климатические условия большинства районов края являются благоприятными для их произрастания.

### Материалы и методы исследований.

Объект исследований – коллекция декоративных кустарников, культивируемых в Ставропольском ботаническом саду. Территория сада расположена в центральной части Ставропольской возвышенности на высоте 640 м над уровнем моря, в зоне неустойчивого увлажнения (ГТК 0,9-1,1). Агроклиматические условия региона характеризуются следующими показателями. Дата перехода среднесуточной температуры через 0° отмечена весной 14 марта, осенью 26 ноября. Самый холодный месяц – январь (-3,7°C), самый теплый – июль (+23°C). Абсолютный минимум температуры составляет -31°C; абсолютный максимум – +37-40°C. Среднегодовое количество осадков составляет 600-700 мм, большее их количество выпадает в летний период (максимум – в июне). Сумма активных температур за период вегетации составляет 3000-3200°C, безморозный период длится 180-190 дней [3]. Почвы представлены черноземами выщелоченными среднемоющими малогумусными тяжелосуглинистыми [4].

В Ставропольском ботаническом саду работа по сбору декоративных кустарников проводится с 1990 г. В программу исследований входит изучение эколого-биологических особенностей интродуцентов, декоративных качеств. Результаты анализа обобщены на основании данных исследований, которые проводились с использованием общепринятых методик [5-7].

**Результаты и их обсуждение.** В Ставропольском ботаническом саду коллекция декоративных кустарников представлена 255 таксонами. Коллекция включает в себя 55 родов, 81 вид, 174 сорта, принадлежащих 26 семействам (табл. 1).

Наибольшим количеством таксонов представлены роды: *Berberis* L. (*Berberidaceae* Juss.) – 5 видов и 21 сорт; *Weigela* Thunb. (*Caprifoliaceae* Juss.) – 22 сорта; *Hydrangea* L. (*Hydrangeaceae* Dumort.) – 2 вида и 25 сортов; *Spiraea* L. (*Rosaceae* Juss.) – 10 видов и 19 сортов.

За многолетний период интродукционного испытания выделен ассортимент видов и сортов, обладающих высокими декоративными качествами и адаптационными возможностями для

Таблица 1. Таксономический состав коллекции декоративных кустарников

Table 1. Taxonomic composition of the collection of ornamental shrubs

Семейство / Family	Род / Genus	Вид / Species	Сорт, форма / Variety, form
<i>Adoxaceae</i> E. Mey.	<i>Viburnum</i> L.	2	6
	<i>Sambucus</i> L.		3
<i>Aquifoliaceae</i> Bartl.	<i>Ilex</i> L.	1	
<i>Asparagaceae</i> Juss.	<i>Yucca</i> L.	1	2
<i>Berberidaceae</i> Juss.	<i>Berberis</i> L.	5	21
	<i>Mahonia</i> Nutt.	1	
<i>Brassicaceae</i> Burnett	<i>Aethionema</i> R. Br.	1	
<i>Buddlejaceae</i> Wilhelm	<i>Buddleja</i> L.	1	7
<i>Buxaceae</i> Dumort.	<i>Buxus</i> L.	2	2
<i>Calycanthaceae</i> Lindl.	<i>Calycanthus</i> L.	1	
	<i>Chimonanthus</i> Lindl.	1	
<i>Caprifoliaceae</i> Juss.	<i>Abelia</i> R. Br.	1	
	<i>Kolkwitzia</i> Graebn.	1	
	<i>Lonicera</i> L.	2	3
	<i>Symphoricarpos</i> Duham.	1	3
	<i>Weigela</i> Thunb.		22
<i>Celastraceae</i> R. Br.	<i>Euonymus</i> L.	2	9
<i>Cornaceae</i> Dumort	<i>Cornus</i> L.	1	1
<i>Elaeagnaceae</i> Juss.	<i>Elaeagnus</i> L.	1	
<i>Euphorbiaceae</i> Juss.	<i>Securinega</i> Comm. ex Juss.	1	
<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Indigofera</i> L.	1	
	<i>Petteria</i> C. Presl	1	
	<i>Spartium</i> L.	1	
<i>Hamamelidaceae</i> R. Br.	<i>Corylopsis</i> Sieb. & Zucc.	2	
<i>Hydrangeaceae</i> Dumort.	<i>Deutzia</i> Thunb.	1	6
	<i>Hydrangea</i> L.	2	25
	<i>Philadelphus</i> L.	2	12
<i>Hypericaceae</i> Juss.	<i>Hypericum</i> L.	5	2
<i>Lamiaceae</i> Lindl.	<i>Callicarpa</i> L.	1	
	<i>Caryopteris</i> Bunge.	1	1
	<i>Clerodendrum</i> L.	1	
	<i>Lavandula</i> L.	2	
	<i>Perovskia</i> Kar.	1	
Lythraceae J. St. – Hil	<i>Lagerstroemia</i> L.		3
	<i>Punica</i> L.	1	
<i>Lauraceae</i> Juss.	<i>Lindera</i> Thunb.	1	
<i>Malvaceae</i> Juss.	<i>Hibiscus</i> L.		6
<i>Myricaceae</i> Blume	<i>Myrica</i> L.	1	
<i>Oleaceae</i> Hoffmgg. et Link	<i>Forsythia</i> Vahl	1	3
	<i>Jasminum</i> L.	2	
	<i>Ligustrum</i> L.	1	3
<i>Rhamnaceae</i> Juss.	<i>Ceanothus</i> L.		1
<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Amelanchier</i> Medik.		1
	<i>Cerasus</i> (Mill.) A. Gray	2	
	<i>Chaenomeles</i> Lindl.	1	
	<i>Cotoneaster</i> Medik.	9	2
	<i>Exochorda</i> Lindl.	1	
	<i>Kerria</i> DC.		2
	<i>Laurocerasus</i> Duhamel	1	1
	<i>Neillia</i> D. Don	1	
	<i>Pentaphylloides</i> Duham.		3
	<i>Physocarpus</i> (Cambess.) Maxim.	1	4
	<i>Spiraea</i> L.	10	19
	<i>Stephanandra</i> Sieb. & Zucc.		1
<i>Rubiaceae</i> Juss.	<i>Cephalanthus</i> L.	1	

практического использования в новых условиях. Для поддержания численного состава коллекции и удовлетворительного фитосанитарного состояния растений существенное значение имеет ее возрастной состав [8]. В составе коллекции 36% составляют кустарники до 10 лет, 30% – от 11 до 20 лет, 29% – от 21 до 30 лет, и незначительное количество (5%) – в возрасте более 30 лет (рис. 1).

За многолетний период интродукции отобранные и успешно внедрены в садово-парковое строительство на Ставрополье около 100 высокодекоративных и устойчивых в местных условиях видов и сортов декоративных кустарников.

При размещении и сочетании растений в различных композициях немаловажное значение имеют высота и форма кроны. Высота древесных растений определяется многими факторами, но прежде всего обусловлена наследственностью [9]. Вместе с тем немаловажное значение имеют почвенно-климатические условия места произрастания, густота посадок и уровень агротехнических мероприятий. По высоте кустарники в коллекции подразделены на высокие (более 2 м), средние (1-2 м) и низкие (менее 1 м). Низкорослые кустарники высотой до 0,6 м составляют 22% от общего состава коллекции. Они вполне могут заменить однолетние цветочные культуры

в сложных композициях с длительным периодом цветения. Ассортимент низкорослых кустарников включает в себя: вечнозеленые (*Aethionema grandiflorum*, *Berberis candidula*, *Cotoneaster dammerii*, *Euonymus fortunei* cv. Blondy), пурпунолистные (*Berberis media* cv. Red Jewel, *Berberis thunbergii* cv. Admiration), золотистые (*Berberis thunbergii* cv. Bonansa Gold, *Spiraea japonica* cv. Gold Moon) и красивоцветущие (*Pentaphylloides fruticosa*, *Spiraea betulifolia*, *Spiraea* × *bumalda* cv. Crispa, *Spiraea japonica* cv. Little Princess).

Существенное значение при создании композиций имеет форма кроны. Для большинства

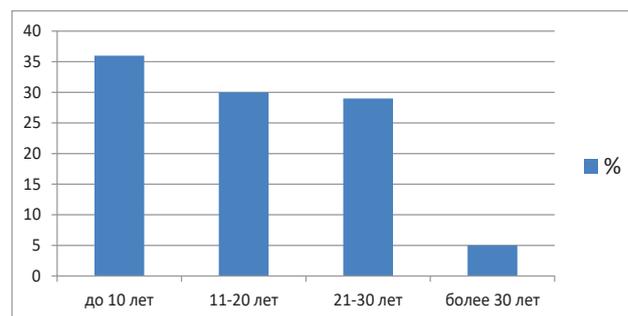


Рис. 1. Распределение состава коллекции по возрастным группам

Fig. 1. Distribution of the collection by age groups

Таблица 2. Декоративные особенности рекомендуемого ассортимента кустарников

Table 2. Decorative features of the recommended range of shrubs

Название таксона <i>Taxon name</i>	Высота, м <i>Height, m</i>	Диаметр кроны, м <i>Crown diameter, m</i>	Декоративные качества* <i>Decorative qualities*</i>	Период, месяц / <i>Period (month)</i>	
				цветения <i>flowering</i>	декоративного эффекта <i>decorative effect</i>
1	2	3	4	5	6
<i>Aethionema grandiflorum</i> Boiss. et Hohen.	0,2	0,4	ВЗ, КЦ	V	I-XII
<i>Berberis candidula</i> C.K. Schneid.	0,4	0,5	ВЗ, КЦ	V	I-XII
<i>Berberis media</i> cv. Red Jewel	0,5	0,6	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	1,0	1,2	КП	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> cv. Atropurpurea	1,2	1,5	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> cv. Aurea	0,7	0,6	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> cv. Admiration	0,4	0,5	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> cv. Bonansa Gold	0,2	0,4	ДЛ, КЦ	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> cv. Ruslan	1,2	0,9	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Berberis thunbergii</i> cv. Styopka	0,9	1,3	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Buddleja alternifolia</i> Maxim.	2,0	1,8	КЦ	VI	V-X
<i>Buddleja davidii</i> cv. Magnifica	2,5	1,5	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Buddleja davidii</i> cv. Orchid Beauti	2,3	1,5	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Buddleja davidii</i> cv. White Cloud	2,0	1,5	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Buddleja</i> × <i>weyeriana</i> cv. Sungold	2,0	1,5	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Caryopteris</i> × <i>clandonensis</i> Simmonds	0,6	0,8	КЦ	VIII-IX	V-XI
<i>Ceanothus</i> × <i>pallidus</i> cv. Marie Simon	0,9	1,0	КЦ	VI-VIII	IV-XI
<i>Chaenomeles maulei</i> (Mast.) C.K. Schneid.	1,0	1,5	КЦ, КП	V	IV-XI
<i>Cornus alba</i> cv. Argenteomarginata	2,0	1,8	ДЛ, КЦ	V-VI	I-XII
<i>Cotoneaster dammerii</i> C.K. Schneid.	0,4	1,0	ВЗ, КП	VI	I-XII
<i>Cotoneaster divaricatus</i> Rehder et Wils.	1,3	1,5	ДЛ, КП	V	IV-XI
<i>Cotoneaster microphyllus</i> Wall.ex Lindl.	0,4	1,0	ВЗ, КП	VI	I-XII

1	2	3	4	5	6
<i>Deutzia scabra</i> cv. Plena	1,8	1,2	КЦ	VI	IV-XI
<i>Euonymus fortunei</i> cv. Blondy	0,5	0,8	ВЗ, ДЛ	-	I-XII
<i>Euonymus fortunei</i> cv. Silver Queen	0,4	1,0	ВЗ, ДЛ	-	I-XII
<i>Forsythia</i> × <i>intermedia</i> cv. Linwood	2,0	1,5	КЦ	IV-V	IV-XI
<i>Forsythia</i> × <i>intermedia</i> cv. Spectabilis	2,2	1,5	КЦ	IV-V	IV-XI
<i>Forsythia koreana</i> cv. Kumson	1,5	1,5	ДЛ, КЦ	IV-V	IV-XI
<i>Hibiscus syriacus</i> cv. Alba	1,8	1,0	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Hibiscus syriacus</i> cv. Ledy Stenley	2,3	1,2	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Hibiscus syriacus</i> cv. Wood Bridge	2,5	1,5	КЦ	VII-VIII	V-XI
<i>Hydrangea arborescens</i> cv. Annabel le	1,2	1,0	КЦ	VII-VIII	IV-XI
<i>Hydrangea arborescens</i> cv. Sterilis	1,5	1,0	КЦ	VII-VIII	IV-XI
<i>Kerria japonica</i> cv. Albomarginata	1,0	0,8	ДЛ	V	I-XII
<i>Kerria japonica</i> cv. Pleniflora	2,0	1,5	КЦ	V, VIII	I-XII
<i>Kolkwitzia amabilis</i> Graebn.	2,5	1,8	КЦ	VI	IV-XI
<i>Mahonia aquifolium</i> (Pursh) Nutt.	0,9	0,7	ВЗ, КЦ	V	I-XII
<i>Pentaphylloides fruticosa</i> cv. Kobold.	0,6	0,8	ДЛ, КЦ	VI-VIII	IV-XI
<i>Perovskia atriplicifolia</i> Benth.	1,0	0,9	ДЛ, КЦ	VII-IX	V-XI
<i>Philadelphus coronarius</i> cv. Aureus	2,2	1,2	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Philadelphus</i> cv. Snezhnaja Burja	2,5	1,2	КЦ	VI	IV-XI
<i>Philadelphus</i> cv. Vosduschny desant	3,0	1,5	КЦ	VI	IV-XI
<i>Philadelphus</i> cv. Yunnat	1,5	1,0	КЦ	VI	IV-XI
<i>Philadelphus</i> cv. Zhemchug	1,9	1,0	КЦ	VI	IV-XI
<i>Physocarpus opulifolius</i> cv. Dart's Gold	1,8	1,5	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Physocarpus opulifolius</i> cv. Diabolo	2,3	1,5	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Prunus tomentosa</i> Thunb.	1,8	1,5	КЦ, КП	V	IV-XI
<i>Sambucus nigra</i> cv. Aurea	2,5	1,5	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Spartium junceum</i> L.	2,2	2,0	КЦ	VI	I-XII
<i>Spiraea betulifolia</i> Pall.	0,6	0,5	КЦ	V	IV-XI
<i>Spiraea</i> × <i>bumalda</i> cv. Albiflora	0,8	0,6	КЦ	VI	IV-XI
<i>Spiraea</i> × <i>bumalda</i> cv. Atrorosea	1,2	1,0	КЦ	VII	IV-XI
<i>Spiraea</i> × <i>bumalda</i> cv. Antony Waterer	0,8	1,0	КЦ	VI	IV-XI
<i>Spiraea</i> × <i>bumalda</i> cv. Crispa	0,6	0,6	ДЛ, КЦ	VII	IV-XI
<i>Spiraea cinerea</i> cv. Grefsheim	1,5	1,8	КЦ	V	IV-XI
<i>Spiraea douglasii</i> Hook.	1,5	1,2	КЦ	VII	IV-XI
<i>Spiraea japonica</i> cv. Gold Flame	0,8	0,9	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Spiraea japonica</i> cv. Gold Moon	0,6	0,6	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Spiraea japonica</i> cv. Golden Princess	0,7	0,7	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Spiraea japonica</i> cv. Little Princess	0,4	0,6	КЦ	VI	IV-XI
<i>Spiraea japonica</i> cv. Shirobana	0,9	1,0	КЦ	VI	IV-XI
<i>Stephanandra incise</i> cv. Crispa	0,4	1,0	ДЛ, КЦ	V	IV-XI
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F. Blake	1,2	1,3	КП	VI-VII	IV-XII
<i>Symphoricarpos</i> × <i>doorenbosii</i> cv. Amethyst	1,2	1,0	КП	VI-VII	IV-XII
<i>Symphoricarpos</i> × <i>chenaultii</i> Rehd.	0,4	1,2	КЦ, КП	VII	IV-XII
<i>Viburnum opulus</i> L.	3,0	2,2	КЦ, КП	V	I-XII
<i>Viburnum opulus</i> cv. Roseum	3,0	2,0	КЦ	V	IV-XI
<i>Viburnum opulus</i> cv. Xantocarpa	3,2	2,3	КЦ, КП	V	I-XII
<i>Viburnum rhytidophyllum</i> Hemsl.	1,5	1,5	ВЗ, КЦ, КП	V	I-XII
<i>Weigela florida</i> cv. Aleksandra	1,0	0,7	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Weigela florida</i> cv. Arlequin	2,0	1,3	КЦ	VI	IV-XI
<i>Weigela florida</i> cv. Augusta	2,2	1,5	КЦ	VI	IV-XI
<i>Weigela florida</i> cv. Bristol Rubi	1,8	1,2	КЦ	VI	IV-XI
<i>Weigela florida</i> cv. Variegata	2,0	1,3	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Weigela florida</i> cv. Variegata Nana	1,6	1,0	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI
<i>Weigela florida</i> cv. Victoria	0,8	0,8	ДЛ, КЦ	VI	IV-XI

**Примечание :** \* – ДЛ (декоративно-лиственный), КЦ (красивоцветущий), КП (красиво плодный), ВЗ (вечнозеленый),

**Note :** \* – ДЛ (decorative deciduous), КЦ (beautifully blooming), КП (beautiful fruits), ВЗ (evergreen)

лиственных кустарников наиболее характерны кроны: шаровидная (*Berberis thunbergii*, *Chaenomeles maulei*, *Spartium junceum*, *Spiraea betulifolia*, *Spiraea japonica* cv. Golden Princess, *Spiraea japonica* cv. Shirobana); раскидистая (*Buddleja alternifolia*, *Cotoneaster divaricatus*, *Forsythia koreana* cv. Kumson, *Kolkwitzia amabilis*, *Sambucus nigra* cv. Aurea, *Spiraea cinerea* cv. Grefsheim); стелющаяся форма (*Cotoneaster dammerii*, *Cotoneaster microphyllus*, *Euonymus fortunei* cv. Blondy, *Euonymus fortunei* cv. Silver Queen, *Symphoricarpos* × *chenaultii*).

По декоративным качествам ассортимент в коллекции подразделен на 3 группы: декоративно-лиственные, красивоцветущие, красивоплодные. В коллекции 32% от всего состава занимают декоративно-лиственные кустарники. В свою очередь, они подразделены на пестролистные (имеющие контрастные вкрапления, пятна или окантовку листа), пурпурнолистные, золотистолистные и вечнозеленые (рис. 2).

Большинство декоративных растений имеет зеленый цвет листьев различных оттенков. Из всех природных красок зеленый цвет обладает наибольшим количеством нюансов [10]. Дополнение композиций видами и сортами с различной окраской листьев (пурпурной, золотистой, пестрой) дает возможность продлить общий декоративный эффект. Садовые формы, имеющие оригинальную окраску листа, декоративны не только во время цветения, но и на протяжении всего периода вегетации: *Berberis thunbergii* cv. Aurea, *Caryopteris* × *clandonensis*, *Cornus alba* cv. Argenteomarginata, *Perovskia atriplicifolia*, *Physocarpus opulifolius* cv. Diabolo, *Spiraea japonica* cv. Gold Flame, *Weigela florida* cv. Variegata. Использование декоративно-лиственных форм, сохраняющих окраску в течение вегетационного периода, возможно не только в качестве эффектных солитеров, но и для создания колоритных композиций в определенной цветовой гамме.

Наряду с ценными кустарниками, имеющими яркую окраску листьев, не меньшее значение имеют вечнозеленые формы. Предложенный ассортимент декоративных кустарников состоит из 76 таксонов. Из них 11% составляют вечнозеленые виды и сорта: *Aethionema grandiflorum*, *Berberis candidula*, *Cotoneaster microphyllus*, *Cotoneaster dammerii*, *Euonymus fortunei* cv. Blondy, *Euonymus fortunei* cv. Silver Queen, *Mahonia aquifolium*, *Viburnum rhytidophyllum*.

Важным элементом, усиливающим декоративный эффект при создании архитектурных композиций, является осеннее изменение окраски листьев. Интенсивность окраски и период расцветивания листьев определяются не только видовыми или сортовыми особенностями, но часто и погодными условиями. При неблагоприятных погодных условиях декоративный эффект

снижается, а осенняя окраска листьев не проявляется в полной мере. Наиболее ярко выражено изменение окраски листьев осенью у *Berberis thunbergii*, *Cotoneaster divaricatus*, *Forsythia* × *intermedia* cv. Linwood, *Spiraea betulifolia*, *Viburnum opulus*, *Viburnum opulus* cv. Roseum.

Особое место занимают красивоцветущие кустарники, которые составляют 79% от общего списка коллекции. При использовании их в декоративном садоводстве во внимание берется целый ряд факторов: размер, форма, окраска цветков и соцветий, сроки, обилие, продолжительность и интенсивность цветения, махровость, аромат. Кустарники с крупными цветами, интересными по форме и окраске, представлены таксонами *Buddleja*, *Chaenomeles*, *Hibiscus*, *Hydrangea*, *Philadelphus*, *Viburnum*. Среди кустарников с небольшими, но обильно и компактно расположенными на поверхности куста цветками, следует выделить виды и сорта *Deutzia*, *Forsythia*, *Kolkwitzia*, *Perovskia*, *Spiraea*. Особую ценность имеют рано цветущие (*Aethionema*, *Forsythia*, *Chaenomeles*, *Kerria*, *Spiraea*) и поздно цветущие виды и сорта (*Caryopteris*, *Buddleja*, *Perovskia*).

Определенный интерес и особую привлекательность в садово-парковых композициях представляют красивоплодные кустарники. Плоды, отличающиеся окраской, размерами и своеобразной формой, являются особенно важными в осенне-зимний период, когда растения находятся в безлистном состоянии. Именно в этот период исключительно декоративны культивары родов *Berberis*, *Chaenomeles*, *Cotoneaster*, *Sambucus*, *Viburnum*.

Пополнение коллекционного фонда декоративных кустарников происходит не только путем введения новых, ранее неизученных таксонов, но и за счет получения собственных селекционных форм. В Государственный реестр селекционных достижений, с допуском использования во всех регионах РФ, внесены два декоративно-лиственных, высокоустойчивых барбариса Тунберга: «Руслан» и «Стёпка» селекции Ставропольского ботанического сада. Рекомендованный ассортимент декоративных кустарников успешно выращивается

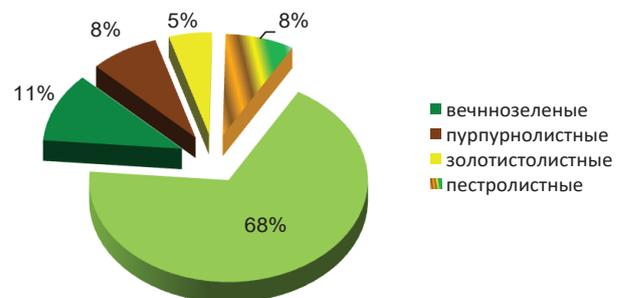


Рис. 2. Распределение таксонов в коллекции по декоративным особенностям листьев

Fig. 2. Distribution of taxa in the collection by decorative features of leaves

отделом научного внедрения для использования в различных категориях озеленения на Ставрополье. Озеленительные организации края применяют кустарники на объектах общего и ограниченного пользования: в парках, скверах, на бульварах, городских улицах и площадях, участках жилой застройки, учреждений образования и здравоохранения, промышленных предприятий. Они используются как элементы ландшафтной композиции в групповых, солитерных, аллейных посадках в сочетании с древесными породами, живых изгородах, бордюрах, клумбах.

### Выводы

Декоративные качества кустарников наравне с устойчивостью в новых условиях играют

решающую роль при отборе растений для озеленения. Предлагаемый ассортимент кустарников для введения в садово-парковое строительство на Ставрополье отличается высокой декоративностью цветков, плодов, листьев, устойчивостью в культуре. Основу коллекции составляют красивоцветущие кустарники, играющие важную роль в садово-парковых композициях. Дополнение ассортимента садовыми формами с оригинальной окраской листьев и плодов дает возможность продлить общий декоративный эффект композиции. Рекомендованный ассортимент кустарников с успехом используется в городском озеленении на Ставрополье в групповых, солитерных, аллейных посадках в сочетании с древесными породами, в живых изгородах, бордюрах и клумбах.

### Список использованных источников

1. Становление эколого-ценологического комплекса Ставропольского ботанического сада и перспектива его развития: Коллективная монография / Под общ. ред. В.И. Кожевникова. Ставрополь: Бюро новостей, 2020. 192 с.
2. **Денисов Н.И.** Декоративные деревья, кустарники и лианы в Приморье / Петухова И.П., Пшеничкова Л.М., Прилуцкий А.Н. Владивосток: ДВО РАН, 2005. 211 с.
3. **Селиверстова Е.Н., Кожевников В.И., Щегринцев Н.В.** Хризантема мелкоцветковая в Ставропольском ботаническом саду: монография / Северо-Кавказский ФНАЦ, Ставрополь: Бюро новостей, 2020. 108 с.
4. **Чебанная Л.П.** Методическое пособие по культуре и подбору ассортимента сортовых клематисов для вертикального озеленения на Ставрополье. Ставрополь: ООО "Кавказ-Полиграфия", 2010. 19 с.
5. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 28 с.
6. Методика государственного сортоиспытания декоративных культур. М.: Изд-во МСХ РСФСР, 1960. 182 с.
7. **Былов В.Н.** Основы сравнительной сортооценки декоративных культур // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. М.: Наука, 1978. С. 7-31.
8. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН: 60 лет интродукции. М.: Наука, 2005. 586 с.
9. **Карпун Ю.Н.** Декоративная дендрология Северного Кавказа: Учебник. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2009. 471 с.
10. **Бондорина И.А., Сапелин А.Ю.** Декоративно-лиственные деревья и кустарники для климатических условий России. Выбор, посадка, уход. М.: Кладезь-Букс, 2004. 144 с.

### Об авторе

**Чебанная Любовь Петровна**, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии; ORCID 0000-0002-3612-3614; Author ID: 785024; bot.sad@bk.ru

### Критерии авторства / Criteria of authorship

Чебанная Л.П. выполнила практические и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 26.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.04.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.04.2024

### References

1. Formation of the ecological-coenotic complex of the Stavropol Botanical Garden and the prospects for its development: collective monograph / edited by. IN AND. Kozhevnikova. Stavropol: News Bureau, 2020. 192 p.
2. **Denisov N.I.** Ornamental trees, shrubs and vines in Primorye / Petukhova I.P., Pshennikova L.M., Prilutsky A.N. Vladivostok: Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005. 211 p.
3. **Seliverstova E.N.** Small-flowered chrysanthemum in the Stavropol Botanical Garden: monograph / E.N. Seliverstova, V.I. Kozhevnikov, N.V. Shchegrinets: North Caucasian Federal National Research Center. – Stavropol: News Bureau, 2020. 108 p.
4. **Chebannaya L.P.** Methodical manual on culture and selection of assortment of varietal clematis for vertical gardening in Stavropol. Stavropol: Kavkaz-Polygraphy LLC, 2010. 19 p.
5. A technique of phenological supervision in botanical gardens of the USSR. M., 1975. 28 p.
6. Methodology of the state variety testing of ornamental crops. Moscow: Publishing house of the Ministry of Agriculture of the RSFSR, 1960. 182 p.
7. **Bylov V.N.** Fundamentals of comparative variety assessment of ornamental crops. // Introduction and selection of flower and ornamental plants. M.: Nauka, 1978. P. 7-31.
8. Woody plants of the Main Botanical Garden named after. N.V. Tsitsin of RAS: 60 years of introduction. M.: Science, 2005. 586 p.
9. **Karpun Yu.N.** Decorative dendrology of the North Caucasus. St. Petersburg, 2005.
10. **Bondorina I.A., Sapelin A.Yu.** Decorative deciduous trees and shrubs for the climatic conditions of Russia. Selection, planting, care / Ser. Series "Gardens of Russia". Moscow, 2004.

### About the authors

**Lyubov P. Chebannaya**, senior researcher of the laboratory of dendrology; ORCID0000-0002-3612-3614; Author ID: 785024; bot.sad@bk.ru

Chebannaya L.P. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. She has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.