

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

2' 2024

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

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



ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

2' 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
Сайт: environment.elpub.ruОтпечатано 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 23.05.24 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)**Исмайлов 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

2' 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
Website: environment.elpub.ruPrinted 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 23.05.24
Format 60 84/8, Circulation 500When 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

Дедова Э.Б., Исаева С.Д., Матвеев А.В., Шабанов Р.М. Концептуальные подходы к созданию геоинформационных веб-систем для обоснования решений по развитию мелиоративно-водохозяйственного комплекса.....	6
Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Ширяева М.А. Оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (<i>Avena sativa</i> L.).....	13
Журавлева Л.А., Алдиаб Анас Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе.....	21
Загоруйко М.Г., Бельшкина М.Е., Садаев М.С. Семеноводство сои на орошении в условиях Левобережья Саратовской области	28
Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Использование агрометеорологических данных для обоснования оросительных мелиораций саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье	35

Гидротехническое строительство

Пащенко Ф.А., Харьков Н.С., Ханов Н.В., Редников С.Н. Практическая реализация инженерной методики определения напряженного состояния в горизонтальных сечениях железобетонных подпорных стен	41
Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Юрьев С.В., Лисичкин С.Е., Бакльков И.В. Анализ результатов натурных и расчетных исследований прочности и устойчивости каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС с прогнозированием ее состояния	48
Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Оценка стадии перемещения наносов при действии волнового потока на элементы русла водного объекта АПК.....	57
Ламердонов З.Г., Жирикова И.А., Хаширова Т.Ю. Экспериментальные исследования комбинированных анкеров и варианты их практического применения	63

Гидравлика и инженерная гидрология

Исмайылова И.Г. Исследование многолетней изменчивости элементов водного баланса речного бассейна в современном климате	69
Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Д., Ахмедова Р.А. К вопросу вычисления соотношения объема поверхностного стока воды, гидропотенциала предгорных территорий и общего количества осадков	79
Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж., Акаев А.Р. Определение количественных значений параметров селепроявлений с использованием БПЛА	83
Редников С.Н., Матвеева Т.И., Бенин Д.М., Ахмедьянова Е.Н., Матвеев А.С. Анализ эффективности применения тепловизионных систем для оценки технического состояния насосных агрегатов	90

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

Аткина Л.И., Сафронова У.А. Итоги развития насаждений на территории сквера у культурно-развлекательного комплекса арена «Уралец» в г. Екатеринбурге	96
Желибо Т.В., Банщикова Е.А. Мониторинг состояния растительности в районе разработки Тасеевского месторождения (Забайкальский край).....	104
Черятова Ю.С., Джафарова А.Ф., Гресько А.И. Ландшафтная индикация в решении задач природопользования.....	111
Вергунова А.А., Проездов П.Н., Сокольская О.Б., Розанов А.В. Закономерности роста видов <i>Salix</i> под влиянием природно-антропогенных факторов в городском парке Вольска	117
Репин Е.Н. Качество семян и пыльцы 7 видов сосны в условиях интродукции в Приморском крае	125
Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М. Опыт и перспективы освоения хурмы виргинской в фиточайной культуре	131

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

Dedova E.B., Isaeva S.D., Matveev A.V., Shabanov R.M.

Conceptual approaches to the creation of gis web systems for land reclamation and water management complex development justification.....6

Karpenko N.P., Glazunova I.V., Shiryaeva M.A.

Assessment of the phytotoxic effect of petroleum products on the germination of oats (*Avena sativa* L.).....13

Zhuravleva L.A., Aldiab Anas

Development of the material and technical base of the reclamation complex on an innovative basis21

Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Sadaev M.S.

Seed production of soybeans under irrigation in the conditions of the left bank of the Saratov region.....28

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V.

Use of agrometeorological data to justify irrigation melioration of seedlings of fruit and berry crops in the Central Non-black earth region.....35

Hydraulic engineering construction

Pashchenko F.A., Kharkov N.S., Khanov N.V., Rednikov S.N.

Practical implementation of the engineering method for determining the stress state in horizontal sections of reinforced concrete retaining walls41

Bellendir E.N., Rubin O.D., Yurjev S.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V.

Analysis of the results of field and computational studies of the strength and stability of the stone-fill dam of the Boguchanskaya Hydroelectric Power Station, predicting its condition48

Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Y.

Assessment of the stage of sediment movement under the action of wave flow on the elements of the channel of a water body in the agro-industrial complex.....57

Lamerdonov Z.G., Zhirikova I.A., Khashirova T.Y.

Experimental studies of combined anchors and options for their practical application63

Hydraulics and engineering hydrology

Ismaylova I.G.

Investigation of the long-term variability of the elements of the water balance of the river basin in the modern climate.....69

Asadov H.H., Suleymanova E.D., Akhmedova R.A.

On the question of calculating the ratio of the volume of surface water runoff, the hydro potential of foothill areas and the total amount of precipitation.....79

Sherkhov A.H., Gergokova Z.Z., Akaev A.R.

Determination of quantitative values of mudflows parameters using UAVs83

Rednikov S.N., Matveeva T.I., Benin D.M., Akhmedyanova E.N., Matveev A.S.

Analysis of the effectiveness of using thermal imaging systems to assess the technical condition of pumping units90

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

Atkina L.I., Safronova U.A.

Results of the development of plantings on the territory of the park near the Arena "Uralets" cultural and entertainment complex in Yekaterinburg.....96

Zhelibo T.V., Banshchikova E.A.

Monitoring of vegetation conditions in the area of development of the Taseevsky deposit (Zabaikalsky krai)..... 104

Cheryatova Yu.S., Jafarova A.F., Gresko A.I.

Landscape indication in solving the problems of nature management 111

Vergunova A.A., Proezdov P.N., Sokolskaya O.B., Rozanov A.V.

Regularities of growth of *Salix* species under the influence of natural and anthropogenic factors in the city park of Volsk 117

Repin E.N.

Quality of seeds and pollen of seven species of pine under the conditions of introduction in Primorsky krai 125

Surkhaev H.A., Surkhaeva G.M.

Experience and prospects of development of virginia persimmon in phyto tea culture..... 131

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-6-12>

УДК 626/627:004:504.062



КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ВЕБ-СИСТЕМ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ МЕЛИОРАТИВНО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева , А.В. Матвеев, Р.М. Шабанов

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, стр. 2, Россия

Аннотация. Эффективное развитие сельского хозяйства в зоне недостаточного увлажнения определяется надежным функционированием мелиоративных систем, экологически благоприятным состоянием орошаемых земель, наличием необходимых водных ресурсов для орошения, применением обоснованных систем земледелия. Системное управление факторами, обеспечивающими продуктивность сельскохозяйственных угодий, представляет собой сложный экспертно-методический и технологический процесс. Оптимизация процесса возможна за счет использования цифровых технологий, в частности, разрабатываемой геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений. Цель исследований заключалась в обосновании концептуальных положений разработки и функционирования геоинформационной системы с веб-платформенной реализацией. Система предназначена для сбора, хранения, анализа и предоставления необходимой для интегрального управления информацией, сужения области поиска рационального решения на основании предоставляемых результатов системных исследований, для повышения обоснованности принимаемых решений. Методической основой геоинформационной веб-системы явились результаты многолетних исследований в области информационно-аналитического обоснования экосистемного водопользования в сельском хозяйстве, информационные и цифровые технологии, методы математического моделирования и статистические методы. Разработаны принципы формирования экспертной веб-системы, необходимые для совместного решения экологических, технических и эксплуатационных задач обеспечения устойчивого развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса и сельского хозяйства на орошаемых землях. Определены также принципы ее работы, обеспечивающие удобный для пользователей и надежный инструментарий на основе веб- и геоинформационных технологий. Экспертная геоинформационная веб-система имеет модульную структуру, включает в себя измерительно-диагностический, моделирующий, аналитический, служебный блоки. Разработано специальное программное обеспечение «Геоинформационная веб-система поддержки принятия решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия».

Ключевые слова: водные ресурсы, мелиоративно-водохозяйственный комплекс, геоинформационные технологии, веб-система, дефицит водных ресурсов

Формат цитирования: Дедова Э.Б., Исаева С.Д., Матвеев А.В., Шабанов Р.М. Концептуальные подходы к созданию геоинформационных веб-систем для обоснования решений по развитию мелиоративно-водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2024. № 2. С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-6-12>

Original article

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE CREATION OF GIS WEB SYSTEMS FOR LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT COMPLEX DEVELOPMENT JUSTIFICATION

E.B. Dedova, S.D. Isaeva , A.V. Matveev, R.M. Shabanov

All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov Moscow, Russia

Abstract. The effective development of agriculture in a zone of insufficient moisture is determined by the reliable functioning of the irrigation system, the environmentally favorable state of irrigated

lands, the availability of the necessary water resources for irrigation, and the use of sound farming systems. Systematic management of factors ensuring the agricultural land productivity is a complex expert – methodological and technological process. Optimization of the process is possible through the use of digital technologies, in particular, the geoinformation web-based decision support system being developed. The purpose of the work was to substantiate the conceptual provisions of the development and operation of a geoinformation system with a web-platform implementation. The system is designed to collect, store, analyze and provide information necessary for integrated management, narrowing the search area for a rational solution based on the provided results of system research, to increase the validity of decisions made. The methodological basis of the geographic information web system was the results of many years of research in the field of information and analytical substantiation of ecosystem water use in agriculture, information and digital technologies, statistical methods, mathematical modeling. The principles of forming an expert web system necessary for jointly solving environmental, technical and operational problems of ensuring the sustainable development of the land reclamation and water management complex and agriculture on irrigated lands have been developed. The principles of its operation have also been defined, providing user-friendly and reliable tools based on web and geoinformation technologies. The expert geoinformation web-based system has a modular structure and includes measurement and diagnostic, modeling, analytical, and service blocks. Special software has been developed: “Geoinformation web-based decision support system for the integrated management of the reclamation and water management complex of the Republic of Kalmykia.”

Keywords: water resources, land reclamation and water management complex, geoinformation technologies, web system, water resource shortage

Format of citation: Dedova E.B., Isaeva S.D., Matveev A.V., Shabanov R.M. Conceptual approaches to the creation of geoinformation web systems to substantiate decisions on the development of the reclamation and water management complex // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-6-12>

Введение. Создание условий для обеспечения устойчивости сельского хозяйства в любых погодных-климатических условиях базируется на развитии мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Использование геоинформационных и веб-технологий, математического и имитационного моделирования, их сочетание в структуре системы принятия решений дают основу для совершенствования управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом и обеспечения условий для преодоления дефицита водных ресурсов, улучшения технического состояния мелиоративных систем и повышения продуктивности мелиорированных земель [1-4].

Продуктивность орошаемых земель во многом определяется тремя основными компонентами производства сельскохозяйственной продукции, а именно: техническим состоянием гидромелиоративных систем, водными ресурсами (наличие и качество), эколого-мелиоративным состоянием и плодородием почв [5]. В связи с этим представляется, что обеспечить высокую продуктивность земель можно на основе комплексного, или интегрального, управления состоянием указанных компонентов [6]. Экспертная геоинформационная веб-система предназначена для обоснования принятия решений при интегральном управлении мелиоративно-водохозяйственным комплексом, позволяя обеспечивать синхронный

процесс контроля и комплексного (системного) управления техническим состоянием ГТС, экологическим состоянием мелиорированных земель и состоянием водных объектов (водоисточников и водоприемников). Такой интегральный научно-методический подход позволяет обеспечить рациональное использование водных и земельных ресурсов, эффективное ведение сельского хозяйства и развитие мелиоративно-водохозяйственного комплекса [6].

Цель исследований: обоснование концептуальных положений разработки и функционирования геоинформационной системы с веб-платформенной реализацией.

Назначение геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений – обеспечение сбора, хранения, пополнения, анализа и предоставления необходимой для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом информации, сужение области поиска рационального решения на основании предоставляемых результатов системных исследований, повышение обоснованности принимаемых решений.

Научная новизна исследований заключается в систематизации накопленных знаний, в формировании общей системы подходов, принципов, методик для ведения эколого-мелиоративного мониторинга, сельскохозяйственного районирования территории Республики Калмыкия,

интегрального управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом с учетом водообеспеченности, качества водных ресурсов, используемых для орошения, продуктивности сельскохозяйственных угодий, мелиоративного состояния земель в целях повышения плодородия почв, обеспечения экологической устойчивости агроландшафтов к климатическим факторам, рационального использования водных ресурсов. Применение разработанной веб-ГИС-системы позволяет дать всестороннее научно-методическое обоснование разработке программ развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Республики Калмыкия.

Материалы и методы исследований.

В качестве исходных материалов при разработке геоинформационной веб-системы для обоснования решений по развитию мелиоративно-водохозяйственного комплекса использованы результаты многолетних исследований по совершенствованию информационно-аналитического обеспечения экосистемного водопользования в сельском хозяйстве, управления водохозяйственными системами, повышению водообеспеченности орошения на юге Европейской части РФ в условиях текущих климатических изменений и дефицита водных ресурсов, по разработке методических и технологических приемов реализации экосистемного водопользования в орошаемом земледелии в зоне недостаточного увлажнения. Используются натурные, лабораторные, геоинформационные методы ведения комплексного экологического мониторинга водных объектов, гидротехнических сооружений и мелиорированных земель Республики Калмыкия [7-12]. Результаты обработаны с применением статистических методов. Создание веб-ГИС-системы основано на применении IT-технологий как инструментов для обеспечения обработки, хранения, передачи и защиты информации, анализа и визуализации данных.

Результаты и их обсуждение. Информационная технология управления процессами функционирования и развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса должна обеспечить возможность учета разноплановых факторов и синтезировать процессы принятия решений в интегральный целенаправленный процесс управления использованием водных ресурсов, гидротехническими сооружениями, мелиоративным состоянием земель и производством сельскохозяйственной продукции [1, 6]. Поэтому экспертная веб-система формируется исходя из совокупности принципов, позволяющих, с одной стороны, научно и достоверно обосновать систему необходимых мелиоративных и хозяйственных

мероприятий, повышающих эффективность орошаемого земледелия, с другой – обеспечивающих при этом удобный для пользователей и надежный инструментарий на основе геоинформационных технологий [13, 14].

Геоинформационная веб-система предназначена для совместного решения экологических, технических и эксплуатационных задач обеспечения устойчивого развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса и сельского хозяйства на орошаемых землях за счет интегрального управления мелиоративными системами.

С учетом рассмотренных положений в качестве концептуальных приняты следующие принципы разработки и функционирования веб-ГИС-системы:

- разрабатываемая система предназначена для интегрального управления отдельными мелиоративными системами и мелиоративным фондом, а также мелиоративно-водохозяйственным комплексом региона;

- разрабатывается на примере Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС) Республики Калмыкия, но носит универсальный характер по своей архитектуре, масштабируемости, что позволит при адаптации применять ее для мелиоративно-водохозяйственного комплекса региона;

- направлена на упрощение процесса и оптимизацию принятия решений по интегральному управлению;

- в основе системы принятия решений – результаты комплексного экологического мониторинга (база данных), результаты научно-методических исследований в области проведения мелиоративных мероприятий, водопользования и ведения сельского хозяйства, результаты иных, функционально связанных разработок, позволяющих принимать системно обоснованные решения по интегральному управлению (база знаний);

- ориентирована на обеспечение централизованного сбора и обработки данных мониторинга, получаемых с помощью автоматизированных метеорологических, гидрологических, агрохимических наблюдений, беспилотных летательных аппаратов и др. с применением современных коммуникационных средств;

- включает в себя развитую аналитическую подсистему, позволяющую сопоставлять данные во времени и пространстве, развитый поисковый механизм с возможностью ранжирования результатов, может выполнять взаимосвязку между проведенными мероприятиями и их эффективностью, доказанной получаемой урожайностью культур;

– с помощью системы обеспечиваются условия хранения данных в реляционной базе, в том числе для формирования Wiki-портала с базой знаний, необходимых для интегрального управления, в облачных сервисах хранения, позволяющих осуществить персонализированный доступ к информационным хранилищам;

– обеспечивается возможность применения комплекса необходимых математических моделей для принятия решений, проведения сценарных исследований, оптимизации полученных решений;

– в автоматизированном режиме экспертом формируются рекомендации по поддержанию рабочего состояния ГТС мелиоративных систем, их модернизации и т.д., по улучшению мелиоративного состояния земель, управлению вододелиением и обеспечением водными ресурсами водопользователей, проведению необходимых мелиоративных мероприятий, по обоснованной технологии выбора сельскохозяйственных культур и системы земледелия, по режимам орошения;

– система делает возможным с использованием сети Интернет круглосуточное (24/7) индивидуальное и коллективное подключение всех заинтересованных лиц, при этом веб-интерфейс должен быть интуитивно понятен пользователю, адаптирован для персонального компьютера и мобильного устройства;

– веб-система должна иметь модульную архитектуру, позволяющую расширять функциональные возможности, обеспечивать бесшовную интеграцию со сторонними программными продуктами и онлайн-сервисами, повышенную производительность и улучшенную масштабируемость в случае увеличения нагрузки.

Концепция предполагает создание веб-ГИС-системы, состоящей из нескольких модулей. Начальным модулем системы является измерительно-диагностический блок, куда поступают необходимые для интегрального управления исходные данные. Эти данные могут быть получены на основе комплексного экологического мониторинга.

Мониторинг представляет собой систему непрерывного слежения и контроля из трех составляющих:

– контроль за техническим состоянием мелиоративных систем и сооружений (плотин, дамб, каналов, водорегулирующих, водопроводящих и сбросных гидротехнических сооружений);

– контроль за объемами и качественным составом воды водоисточников, а также водоприемников;

– контроль эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель и прилегающих

территорий (режима грунтовых вод, динамики почвенных процессов).

В модуль поступают данные дистанционного зондирования Земли, автоматизированных и визуальных наблюдений за показателями и состоянием компонентов системы производства сельхозпродукции, данные с метео- и сейсмостанций, показания датчиков влажности почвы, результаты лабораторных и натурных исследований и пр. Информация передается в геоинформационный блок, где происходит наполнение баз данных для веб-ГИС-проектов, в том числе с использованием облачных систем хранения.

Для анализа и обработки данных мониторинга в структуре геоинформационной веб-системы поддержки принятия решений предусматривается моделирующий блок, содержащий модели для статистической обработки данных, а также математические, экологические, экономические модели. Программные продукты позволяют выполнить оценку эффективности деятельности земле- и водопользователей, текущего состояния гидротехнических сооружений и водных ресурсов, почвенного покрова. Производится аналитическое обоснование объемов и технологии водопользования, сравнение разных режимов орошения и технологий поливов, анализ факторов роста и развития растений, динамики свойств почвенного покрова. В этом блоке на основе моделей предполагаются сценарная оценка рисков развития неблагоприятных экологических процессов при орошении, определение эффективности и оптимизация использования водных ресурсов, системы производства сельскохозяйственной продукции.

Результаты модельных исследований используются в аналитической подсистеме (блоке) обоснования тактических и стратегических решений по управлению состоянием ГТС, мелиоративным состоянием земель, по использованию водных ресурсов, и прежде всего – определению и реализации плановых инженерных и мелиоративных мероприятий по снижению экологического риска, оптимизации водопользования, повышению продуктивности земель.

Определяющее значение в разрабатываемой веб-системе имеет служебный блок. Служебный блок экспертной геоинформационной веб-системы, помимо программ сетевого взаимодействия (веб-сервер, веб-приложения для поиска, предварительной обработки, анализа и визуализации данных, система управления базами данных, веб-сервис облачного хранения данных и пр.), должен включать в себя модуль согласования типов и форматов данных при необходимости интеграции разнородных баз данных, а также

модуль резервного копирования. Данный инструментарий позволит в случае технической ошибки пользователя, системного сбоя, разрушительных действий вирусов и других вредоносных программ вернуться к работоспособному состоянию системы и восстановить содержимое баз данных.

Модульная архитектура, гибкость в настройке, возможность расширения экспертной системы позволят улучшить ее функциональные возможности, подключить модели искусственного интеллекта, а также при необходимости адаптировать ее для разных иерархических уровней управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом.

Система должна обеспечивать интеграцию готовых программных продуктов, веб-ГИС-проектов и онлайн-сервисов (как свободного доступа, так и коммерческих) в единую технологию поддержки принятия решений, возможность свободного развития и совершенствования на основе собственных разработок.

Использование готового, свободно распространяемого программного обеспечения с открытым исходным кодом, обеспечивает экономию затрат, так как не требует лицензионных отчислений за каждый установленный экземпляр программы или каждый ее запуск. Свободные приложения с открытыми исходными кодами позволяют приспосабливать их под конкретные задачи и создавать на их основе новые программы, при этом обеспечиваются гибкость и простота адаптации. Доступ к исходным кодам программы дает возможность проводить независимый аудит кода и гарантировать повышенный уровень безопасности.

Одновременно в ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова разрабатываются собственные программные продукты, направленные на управление режимом работы водохранилищ для учета требований мелиоративно-водохозяйственного комплекса, оптимизации работы головной насосной станции с учетом требований водопользователей, регулирования водораспределения в пределах мелиоративной системы и др.

Особенностью программного продукта для совершенствования организации управления мелиоративными системами и эколого-мелиоративным состоянием земель должна являться его доступность для пользователей: профильных специалистов агрохолдингов, фермеров, главных агрономов хозяйств, инженеров эксплуатационной службы и др. – при выработке тактических и оперативных решений. С этой целью геоинформационная веб-система основана на клиент-серверной технологии и позволяет через сеть

Интернет подключаться удаленному пользователю с персонального компьютера, смартфона или планшета. В веб-системе должна быть предусмотрена возможность тонкой настройки индивидуальных прав доступа для каждого пользователя и может быть реализовано четыре типа интерфейса: свободного и коммерческого доступа для заинтересованных физических и юридических лиц (ограниченный доступ к информации об объектах и данным мониторинга); пользовательский (наполнение базы данных, поиск и анализ данных, формирование отчетов); административный (полный доступ, возможность создания и изменения учетных записей, журналирование событий для быстрого выявления ошибочно введенных данных в многопользовательской среде).

Перспективы использования геоинформационных веб-систем в мелиорации заключаются в том, что такая экспертная система обеспечивает анализ разнообразных по масштабу и интенсивности происходящих природно-техногенных процессов на локальном (мелиоративная система, ландшафт) или региональном уровнях, а также рассматривает на их фоне процессы производства сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях, определяет особенности эксплуатации гидротехнических сооружений.

Веб-ГИС-система делает доступным обоснование благоприятных условий для возделывания сельскохозяйственных культур, повышения продуктивности орошаемых земель и эффективности сельскохозяйственного производства при рациональном использовании интегральных ресурсов.

Выводы

При реализации государственных программ в системе обеспечения социально-экономического развития Российской Федерации, решении вопросов национальной и продовольственной безопасности страны все более актуальной становится проблема совершенствования использования и управления водными и земельными ресурсами. Необходимым является развитие экспертных систем и информационных технологий управления процессами функционирования мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Возможности современных геоинформационных и веб-технологий значительно повышают ценность информационного обеспечения и эффективность управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом. Лицо, принимающее решения, получает возможность оперативно рассматривать большое количество альтернатив, использовать модели при анализе информации и формировании сценариев использования

водных и земельных ресурсов, при их оценке по выбранным критериям с учетом прогнозных последствий принятого решения.

Авторским коллективом разработано специальное программное обеспечение «Геоинформационная веб-система поддержки принятия решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023663383, 22.06.2023). Информационные технологии позволяют учесть разноплановые факторы и синтезировать процессы принятия решений в интегральный целенаправленный

процесс управления использованием водных ресурсов, гидротехническими сооружениями, мелиоративным состоянием земель и производством сельскохозяйственной продукции.

Применение геоинформационной веб-системы является перспективным в качестве системы поддержки принятия решений в агрохолдингах, фермерских хозяйствах, а при ее развитии – в органах управления АПК, региональных ФГБУ «Мелиоводхоз», водохозяйственных и проектных организациях для модернизации и развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса.

Список использованных источников

1. Шевченко В.А., Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93, № 4. С. 355-361.
2. Бояркин А. Цифровизация управления: преимущества, технологии, этапы. 2022 г. URL: <https://sales-generator.ru/blog/tsifrovizatsiya-upravleniya/?ysclid=lj78vsigr9332073574>.
3. Юрченко И.Ф. Концепция развития цифровизации комплексной мелиорации // Аграрная наука. 2022. № 1 (7-8). С. 199-209.
4. Щедрин В.Н., Васильев С.М., Слабунов В.В., Слабунова А.В., Завалин А.А. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация» // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 1. С. 54-64.
5. Наумова Т.В. Проблемы технического состояния оросительных систем Юга России и переход управления орошением на новый технологический уровень // Гидротехническое строительство. 2022. № 1. С. 1-5.
6. Шевченко В.А., Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Модель принятия решений в инновационных проектах развития сельскохозяйственного водопользования // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 65, № 2 (386). С. 124-128.
7. Широкова В.А., Дедова А.А., Шабанов Р.А., Дедова Э.Б. Агроэкологический мониторинг состояния Сарпинской обводнительно-оросительной системы // Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы. Материалы Международной научно-практической конференции. Москва, 25 сентября 2020 г. М.: ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 2020. С. 496-500. EDN: EUHNTN.
8. Шабанов Р.М., Дедова Э.Б. Формирование реляционной базы данных комплексного мониторинга лиманных агромилиоландшафтов Калмыкии // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации. Материалы Международной научно-практической конференции. Москва, 24-25 октября 2018 г. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2019. С. 589-593. EDN: ZEOZKX.
9. Дедова Э.Б., Шабанов Р.М. Геоинформационный анализ экологического состояния поверхностных вод озера Сарпа // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий. Материалы Международной юбилейной научно-практической конференции.

References

1. Shevchenko V.A. Isaeva S.D., Dedova E.B. A new stage in the development of the reclamation and water management complex of the Russian Federation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023 Volume 93. No. 4. P. 355-361
2. Boyarkin A. Digitalization of management: advantages, technologies, stages. – 2022 // Information resource: <https://sales-generator.ru/blog/tsifrovizatsiya-upravleniya/?ysclid=lj78vsigr9332073574>
3. Yurchenko I.F. Concept for the development of digitalization of complex land reclamation // Agricultural Science. 2022. No. 1(7-8). P. 199-209.
4. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., Slabunova A.V., Zavalin A.A. Approaches to the formation of the information system “Digital Land Reclamation” // “Information Technologies and Computing Systems”. 2020 No 1. P. 54-64.
5. Naumova T.V. Problems of the technical condition of irrigation systems in the South of Russia and the transition of irrigation management to a new technological level. / Hydraulic engineering. 2022. No. 1. P. 1-5.
6. Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B. Model of decision-making in innovative projects for the development of agricultural water use // International Agricultural Journal, 2022 Volume 65.No. 2 (386). P. 124-128.
7. Agroecological monitoring of the state of the Sarpinsk watering and irrigation system / V.A. Shirokova, A.A. Dedova, R.A. Shabanov, E.B. Dedova // Digitalization of land use and cadastres: trends and prospects: Materials of the international scientific and practical conference September 25, 2020, Moscow, September 25, 2020. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education State University of Land Management, 2020. P. 496-500. – EDN EUHNTN.
8. Shabanov R.M. Formation of a relational database for integrated monitoring of estuary agromeliolandscape of Kalmykia / R.M. Shabanov, E.B. Dedova // Land reclamation is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation: Materials of the international scientific and practical conference, Moscow, October 24-25, 2018. Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, 2019. P. 589-593. – EDN ZEOZKX.
9. Dedova E.B. Geoinformation analysis of the ecological state of the surface waters of Lake Sarpa / E.B. Dedova, R.M. Shabanov // Problems of development of agricultural reclamation and water management complex based

Москва, 23-24 октября 2019 г. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2019. Т. II. С. 58-63. EDN: BDICLE.

10. **Дедов А.А., Дедова Э.Б.** Комплексная оценка эффективности функционирования агроландшафтов на засоленных почвах Калмыкии // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 7 (95). С. 1039-1053. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-7-1039-1053. EDN: RYGLIW.

11. **Дедова Э.Б., Кониева Г.Н.** Агроэкологическая оценка почв рисовых севооборотов Сарпинской низменности // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 1. С. 34-39. DOI: 10.31857/S2500-26272019134-39. EDN: VVHNHK.

12. **Дедова Э.Б., Дедов А.А., Шабанов Р.М.** Эколого-мелиоративный мониторинг лиманных агроэкосистем Калмыкии // Основные результаты научных исследований института за 2017 г.: Сборник научных трудов. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2018. С. 102-112. EDN: XTZOCD.

13. **Коломийцев Н.В., Матвеев А.В.** Создание информационно-справочной системы на базе веб-технологий для обоснования выбора технологий восстановления плодородия почв и рекультивации деградированных агроландшафтов // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности: Сборник трудов. М.: ВНИИГиМ, 2022. С. 345-352.

14. **Ильинский А.В., Матвеев А.В., Евсенкин К.Н.** Информационно-справочная Web-система для принятия управленческих решений по повышению продуктивности почв мелиорированных сельскохозяйственных земель // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 15-18.

on digital technologies: Materials of the international anniversary scientific-practical conference, Moscow, October 23-24, 2019. Volume II. – Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, 2019. pp. 58-63. – EDN BDICLE.

10. **Dedov A.A.** Comprehensive assessment of the efficiency of functioning of agromeliolandsapes on saline soils of Kalmykia / A.A. Dedov, E.B. Dedova // Scientific life. 2019. T. 14, No. 7(95). pp. 1039-1053. – DOI:10.35679/1991-9476-2019-14-7-1039-1053.–EDNRYGLIW.

11. **Dedova E.B.** Agroecological assessment of soils in rice crop rotations in the Sarpinskaya Lowland / E.B. Dedova, G.N. Konieva // Russian Agricultural Science. 2019. No. 1. P. 34-39. – DOI 10.31857/S2500-26272019134-39. – EDN VVHNHK.

12. **Dedova E.B.** Ecological and reclamation monitoring of estuary agroecosystems of Kalmykia / E.B. Dedova, A.A. Dedov, R.M. Shabanov // Main results of scientific research of the institute for 2017: Collection of scientific papers. – Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, 2018, pp. 102-112. – EDN XTZOCD.

13. **Kolomiytsev N.V., Matveev A.V.** Creation of a web-based information and reference system to justify the choice of technologies for restoring soil fertility and reclamation of degraded agricultural landscapes // In the collection: The role of reclamation in ensuring food security. Moscow, 2022. pp. 345-352.

14. **Pyinsky A.V., Matveev A.V., Evsenkin K.N.** Information and reference Web-system for making management decisions to increase the productivity of soils of reclaimed agricultural lands // Melioration and water management. 2021. No. 5. P. 15-18.

Об авторах

Эльвира Батыревна Дедова, д-р с.-х. наук, профессор РАН; заместитель директора по науке; Researcher ID: C-1822-2014; Scopus: 57130902500; <https://orcid.org/0000-0002-0640-911X>; dedova@vniigim.ru

София Давидовна Исаева, д-р техн. наук, заведующая отделом, главный научный сотрудник; <https://orcid.org/0000-0001-9640-2191>; Scopus: 57193422572; isaeva7sofia@yandex.ru;

Андрей Валерьевич Матвеев, кандидат технических наук; ведущий научный сотрудник экосистемного водопользования и предотвращения опустынивания земель, главный научный сотрудник; andrey@vniigim.ru

Рустам Михайлович Шабанов, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник Калмыцкого филиала; <https://orcid.org/0000-0001-8012-692X>; Researcher ID: J-6604-2018; Scopus: 57220038266; rustam1_9@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Дедова Э.Б., Исаева С.Д., Матвеев А.В., Шабанов Р.М. 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 21.01.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 25.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 25.02.2024

Author information

Elvira B. Dedova, DSc (Agro), professor of the RAS; deputy director on science; <https://orcid.org/0000-0002-0640-911X>; Researcher ID: C-1822-2014; Scopus: 57130902500; dedova@vniigim.ru

Sofia D. Isaeva, DSc (Eng); head of the department, chief researcher; <https://orcid.org/0000-0001-9640-2191>; Scopus: 57193422572; isaeva7sofia@yandex.ru

Andrey V. Matveev, Candidate of Technical Sciences; Leading Researcher; andrey@vniigim.ru

Rustam M. Shabanov, CSc (Agro), leading researcher of the Kalmyk branch; <https://orcid.org/0000-0001-8012-692X>; Researcher ID: J-6604-2018; Scopus: 57220038266; rustam1_9@mail.ru

Dedova E.B., Isaeva S.D., Matveev A.V., Shabanov R.M. 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/10.26897/1997-6011-2024-2-13-20>

УДК 632.95.02.24.4: 633.13:631.421:631.44:632.122(470.53)



ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВСХОЖЕСТЬ ОВСА ПОСЕВНОГО (*AVENA SATIVA L.*)

Н.П. Карпенко^{1✉}, И.В. Глазунова^{1,2}, М.А. Ширяева^{2,3}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

³Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141010, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (*Avena sativa L.*) для дальнейшего подбора мелиорантов в целях повышения всхожести сельскохозяйственной культуры и уменьшения концентраций загрязняющих веществ. Исследования проводились в Пермском крае, на территории, приуроченной к водосборному бассейну реки Кама. Фитотоксичность загрязненной нефтепродуктами почвы оценивалась по всхожести семян, энергии прорастания, росту и развитию корней и побегов. Всхожесть семян оценивалась на 7-й день как процент проросших семян от общего числа высеянных. Анализы по агрохимическому составу почв и содержанию микроэлементов в почвенной влаге проводились каждую неделю в течение месяца в 5 повторностях. Результаты показали, что в почве содержится значительное количество подвижного фосфора и незначительное количество нитратного азота. Исследования по выявлению количества погибших клеток овса длились до 15 суток. Значительное отклонение от контроля наблюдалось при концентрации нефтепродуктов более 500 мг/кг, при этом количество погибших клеток овса составило свыше 30%.

Ключевые слова: фитотоксичность, загрязнение почв, нефтепродукты, овес посевной, всхожесть, статистический анализ

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Ширяева М.А. Оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (*Avena sativa L.*) // Природообустройство. 2024. № 2. С. 13-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-13-20>

Original article

ASSESSMENT OF THE PHYTOTOXIC EFFECT OF PETROLEUM PRODUCTS ON THE GERMINATION OF OATS (*AVENA SATIVA L.*)

N.P. Karpenko^{1✉}, I.V. Glazunova^{2,1}, M.A. Shiryaeva^{2,3}

¹All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, building 2, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

³Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; 141010, Mytishchi, Semashko str., 2, Russia

Abstract. The purpose of the study was to assess the phytotoxic effect of petroleum products on the germination of oats (*Avena sativa L.*) for further selection of ameliorants to increase the germination of agricultural crops and reduce the concentrations of pollutants. The research was carried out in the Perm Territory, on the territory confined to the catchment area of the Kama River. Phytotoxicity of oil-contaminated soil was assessed by seed germination, germination energy, growth and development of roots and shoots. Seed germination was estimated on day 7 as the percentage of germinated seeds out of the total number sown. Analyses on the agrochemical composition of soils and the content of trace elements in soil moisture were carried out every week for a month in 5 replicates. The results showed that the soil contains a significant amount of mobile phosphorus and a negligible amount of nitrate nitrogen. Studies to identify the number of dead oat cells lasted up to 15 days. A significant deviation from the control was observed at the concentration of petroleum products more than 500 mg/kg, while the number of dead oat cells was more than 30%.

Keywords: phytotoxicity, soil pollution, oil products, oats, germination, statistical analysis

Format of citation: Karpenko N.P., Glazunova I.V., Shiryaeva M.A. Assessment of the phytotoxic effect of petroleum products on the germination of oats (*Avena sativa* L.) // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 13-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-13-20>

Введение. Воздействие добычи, использования и переработки нефтепродуктов на компоненты окружающей среды является сложной проблемой. Нефтяные углеводороды – одна из наиболее распространенных групп стойких органических загрязнителей [1]. Нефть разрушает структуру почвы и изменяет ее физическое, химическое и биологическое состояние [2, 3].

Согласно перечню поручений Правительства Российской Федерации по реализации «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» необходимо провести ряд мероприятий по рекультивации земель, подверженных загрязнению в результате хозяйственной деятельности [4]. Проведение рекультивационных мероприятий возможно при наличии четких критериев и стандартов оценки уровня содержания нефтяных углеводородов в почве, а экологическое нормирование направлено на оптимизацию взаимодействия человечества и природы [5]. На совещании по развитию агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов 5 апреля 2022 г. подчеркивалось, что целью развития является отечественное сельское хозяйство: производство продовольствия, увеличение мелиорации, восстановление земель, повышение интенсивности их использования [6]. Методы экологического нормирования, в том числе нефти и нефтепродуктов в почвах, требуют разработки четких стандартов качества [7] и норм допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почвах. Поэтому важно разработать методическую базу, включающую в себя обоснование показателей для оценки качества почв и установления допустимого воздействия на них, особенно на сельскохозяйственные почвы.

Растительные тест-организмы были успешно использованы для определения токсичности загрязненных почв и воды [8]. Преимуществом фитотестов с высшими растениями по сравнению с водной средой является использование загрязненной почвы. Недостатком является сравнительно большая продолжительность анализа. Известно, что нефть и нефтепродукты оказывают прямое токсическое воздействие на высшие растения, нарушают водный обмен в почве и повреждают корни, вызывая анаэробные условия. Это подавляет прорастание семян и рост побегов и корней растений, задерживает цветение, а цветки этих растений редко образуют семена [9-11].

В Российской Федерации действует ГОСТ (государственный стандарт) Р ИСО 22030-2009 [12], который описывает метод определения ингибирования темпов роста и репродуктивной способности высших растений под влиянием почвы в контролируемых условиях. Рекомендуется использовать два вида растений: быстрорастущую горчицу полевую (*Brassica rapa* CrGC syn. Rbr) и овес посевной (*Avena sativa* L.). Продолжительность экспериментов должна быть достаточной для достижения целей по определению устойчивости испытуемых растений к воздействию.

Цель исследований: оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (*Avena sativa* L.) для дальнейшего подбора мелиорантов в целях повышения всхожести сельскохозяйственной культуры и уменьшения концентраций загрязняющих веществ.

Исследования проводились в Пермском крае на территории, приуроченной к водосборному бассейну реки Кама. Детектирование загрязненных территорий становится сложным процессом при разливах и утечках небольших концентраций нефтепродуктов. Точечные загрязнения приводят к формированию литохимических ореолов, оказывающих негативное воздействие на экосистему.

Аварийные разливы и утечки привели к формированию литохимических потоков, воздействуя на близлежащие территории. Концентрации в почве значительно превышают допустимое значение (1000 мг/кг), что свидетельствует об отсутствии возможности экосистемы к самоочищению, приводит к угнетению растительности вплоть до ее полной гибели. По некоторым данным, концентрация нефтепродуктов вблизи нефтегазоносных площадей Южно-Сухокумской группы месторождений составляет 2160-4690 мг/кг. В почвах, отобранных на лугах, отмечено высокое содержание нефтепродуктов [13, 14].

В Пермском крае развивается сельское хозяйство. Согласно данным Росстата площадь посевных площадей на 2020 год составляет 757,2 тыс. га [15].

Большую часть посевных площадей в Пермском крае составляют кормовые культуры (60%), 13,5% составляют площади озимой и яровой пшеницы, на третьем месте – ячмень (8,8%), на четвертом – овес посевной (6,6%) (рис. 1).



Рис. 2. Содержание агрохимических показателей в образцах почвы, мг/кг

Fig. 2. Content of agrochemical parameters in soil samples, mg/kg

Таблица 1. Данные исследований содержания микроэлементов в почвенной влаге

Table 1. Studies data of the content of trace elements in soil moisture

Т0/образец почвы	Ес, $\mu\text{s}/\text{cm}$	Сu, мг/л	Cd, мг/л	Pb, мг/л	Zn, мг/л	pH
1 (контроль)	36.71±11.00 a	0.04±0.00 b	0.05± 0.02 ab	0.13±0.02 a	0.47±0.26 ab	7.29±0.30 b
2	43.98±8.93 a	0.03±0.00 b	0.04±0.00 b	0.14±0.02 a	0.25±0.022 b	7.5±0.04 ab
3	40.56±1.55 a	0.31±0.17 a	0.08±0.03 a	0.14±0.02 a	0.66±0.26 a	7.59±0.11 ab
4	41.70±0.97 a	0.43±0.43 a	0.08±0.01 a	0.13±0.01 a	0.70±0.098 a	7.68±0.18 a
5	37.15±10.00 a	0.03±0.00 b	0.05±0.01 ab	0.12±0.02 a	0.41±0.15 ab	7.42±0.13 ab
6	38.09±4.16 a	0.04±0.01 b	0.05±0.00 ab	0.13±0.02 a	0.40±0.048 ab	7.41±0.13 ab
T12/образец почвы	Ес, $\mu\text{s}/\text{cm}$	Сu, мг/л,	Cd, мг/л	Pb, мг/л	Zn, мг/л	pH
1 (контроль)	3.56±0.16 cd	0.04±0 b	0.07± 0.02 b	0.08± 0.0025 a	0.84±0.61 b	6.61 ±0.09 abc
2	2.88±0.087 d	0.014±0.001 c	0.022±0.011 b	0.06±0.03 a	0.13±0.15 c	7.56±0.19 a
3	6.88±0.12 a	0.15±0.07 a	0.68± 0.34 a	0.28±0.2 a	16.18±8.13 a	5.66± 0.98 c
4	6.06±0.63 b	0.15±0.083 a	0.65±0.5 a	0.3±0.38 a	6.75±2.65 a	6.12 ±0.81 bc
5	3.75±0.15 c	0.015±0.005 c	0.23±0.09 b	0.07±0.03 a	0.006±0.1 c	7.35± 0.36 ab
6	3.05± 0.07 cd	0.02±0.0006 bc	0.02± 0.005 b	0.10±0.02 a	0.10±0.02 c	7.45±0.39 ab

исследований были отмечены значительные отличия от контроля для экспериментов 3 и 4, а к 12-й неделе – для экспериментов 2, 3, 4, 5. В отношении Cd наблюдались незначительные различия между концентрациями в образцах почвенной влаги, а к концу эксперимента значительные различия наблюдались для экспериментов 2, 3, 4. Для Zn наблюдались незначительные различия между концентрациями в образцах почвенной влаги, но к концу исследований были отмечены существенные различия для образцов 2, 5, 3, 6.

В концентрации 200 мг/кг отрицательное действие не отмечено (всхожесть составила 81,0% по сравнению с контролем). Нефтепродукты в концентрациях 800 и 1000 мг/кг вызывают снижение длины корня овса на 17,81% (в дозе 800 мг/ кг различия статистически значимы, $p = 0,005$). Значения динамики прорастания семян представлены в таблице 2.

Установлено, что нефтепродукты оказали ингибирующее действие на всхожесть овса в концентрациях 500-1200 мг/кг, которая составила менее 80% от контроля (рис. 3).

На рисунке 4 показана 20-дневная скорость ингибирования роста побегов овса посевного разных экспериментов загрязненной почвы. В случае экспериментов 1 и 2 ингибирование не наблюдалось до концентрации 40% почвы, загрязненной нефтепродуктами. При сочетании почвы в эксперименте 3 ингибирование роста побегов возрастало с увеличением содержания нефтепродуктов. Это явление можно объяснить высокими концентрациями загрязняющих веществ в почве по сравнению с другими загрязненными почвами. Увеличение концентрации нефтепродуктов приводило к значительному снижению толерантности овса посевного.

Статистический анализ данных проводился в программе RStudio. Для выявления корреляционных связей влияния содержания компонентов в почвах на накопление этих элементов в растениях применялся метод ANCOVA (ковариационный анализ). ANCOVA позволил осуществить статистический контроль над неконтролируемыми переменными, чтобы можно было использовать обычные методы анализа без искажения результатов.

Рабочие гипотезы, положенные в основу исследований:

Γ_0 : нет связи во влиянии содержания нефтепродуктов в почвах на концентрацию нефтепродуктов в образцах овса посевного.

Γ_1 : существует связь во влиянии содержания нефтепродуктов в почве на концентрацию нефтепродуктов в растениях.

Для каждого образца растения была построена гистограмма распределения данных (рис. 4). Согласно гистограмме, распределение данных является централизованным и относительно симметричным для обоих образцов.

Данные графика Q-Q (рис. 5) подтвердили, что в полученных данных нет отклонений от стандартного нормального распределения, так

Таблица 2. Характеристики, полученные в ходе исследований всхожести овса посевного
Table 2. Characteristics obtained in the course of the study of germination of oats

Значения всхожести семян овса посевного, % / Values of oat seeds germination, %						
	Вариант опыта, концентрация нефтепродуктов, мг/кг Variant of the experiment, concentration of oil products, mg / kg					
	Контроль / Control	200	500	800	1000	1200
Всхожесть, % / Germination, %	79,32	43,16	31,22	25,00	15,25	7,9
Длина корня овса посевного / Length of the oat root						
	Вариант опыта, концентрация нефтепродуктов, мг/кг Variant of the experiment, concentration of oil products, mg / kg					
	Контроль / Control n =120	200 n =90	500 n =62	800 n =39	1000 n =42	1200 n =12
Длина корня, см Length of the root, cm	10,20 (7,50; 12,45)	9,30 (6,70; 11,00) p=0,075	10,00 (8,00; 12,00) p=0,35	9,00* (6,50; 11,40) p=0,005	9,00 (7,80; 10,80) p=0,35	5,50* (4,10; 6,20) p=0,000

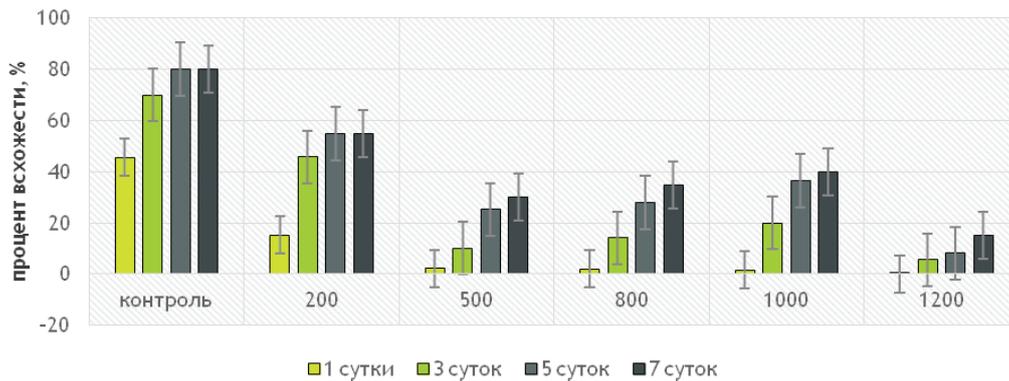


Рис. 3. Динамика прорастания семян
Fig. 3. Dynamics of seed germination

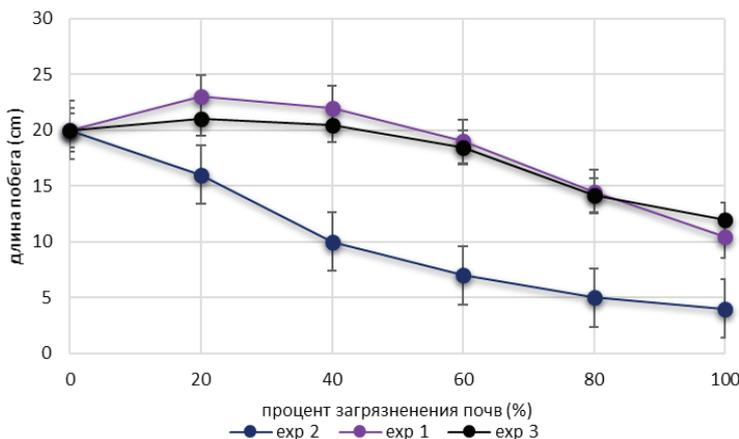


Рис. 4. Влияние загрязнения нефтепродуктами на длину побегов овса посевного через 20 дней
Fig. 4. Effect of oil products contamination on the length of oat shoots after 20 days

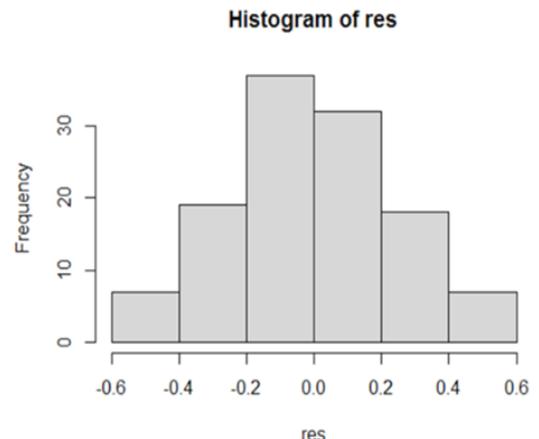


Рис. 5. Гистограмма распределения данных для овса посевного
Fig. 5. Distribution bar chart for oat

как большая часть точек на графике расположена на линии.

На конечном графике статистического анализа показан один и тот же наклон линий, но разные точки пересечения для разных уровней качественной переменной (рис. 6), что свидетельствует о взаимосвязи содержания нефтепродуктов в почве и концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах растений.

Исследования гибели клеток овса показали результат превышения контроля в 2, 5 и 10 раз, а также то, что результат напрямую зависит от концентрации нефтепродуктов в почве.

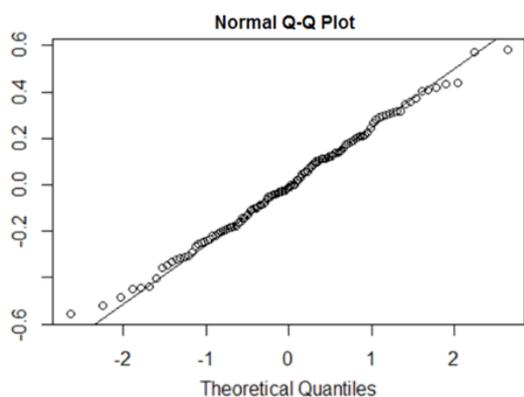


Рис. 6. График Q-Q plot для овса посевного

Fig. 6. Q-Q plot for oats

Гибель клеток в корнях овса посевного (рис. 8) в минимальной концентрации нефтепродуктов обнаружена начиная с 10 суток, в то время как в остальных концентрациях – с 5 суток (по критерию Стьюдента значение $p\text{-value} < 0,05-0,001$).

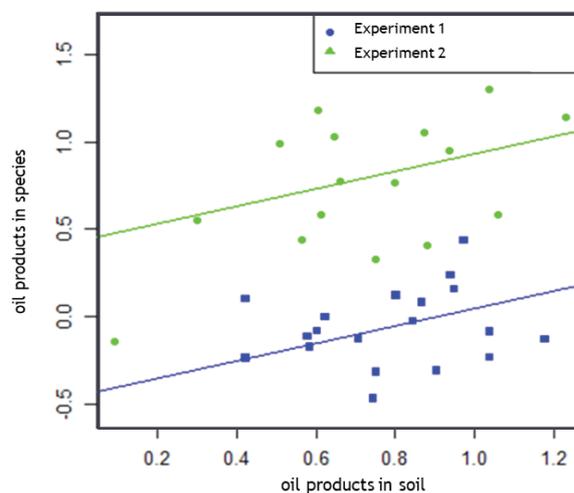


Рис. 7. Диаграмма рассеяния влияния нефтепродуктов в почве на накопительный эффект в корнях овса посевного

Fig. 7. Scatter diagram of the effect of oil products in the soil on the cumulative effect in the roots of oats

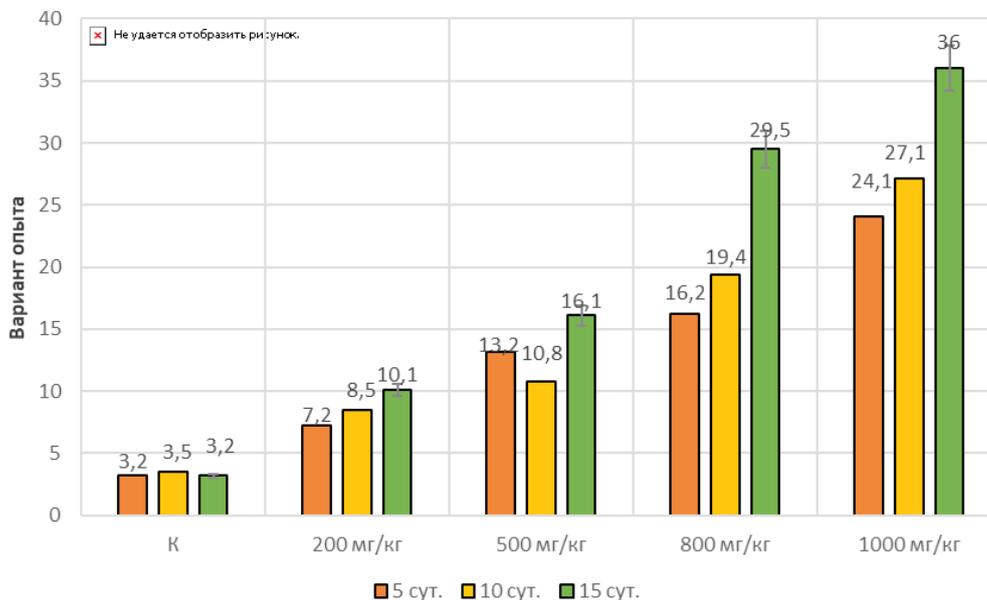


Рис. 8. Количество умерших клеток в корнях овса посевного, %

Fig. 8. Number of dead cells in the roots of oats, %

Выводы

Исследования проводились в Усольском районе Пермского края на территории водосбора реки Кама. Был проведен анализ согласно данным Росстата по структуре посевных площадей исследуемого региона. Большую часть посевных

площадей в Пермском крае составляют кормовые культуры (60%); 13,5% составляют площади озимой и яровой пшеницы; на третьем месте – ячмень (8,8%), на четвертом – овес посевной (6,6%).

Нефтепродукты не оказали значительного фитотоксического действия на семена овса

посевого *Avena sativa* в концентрации 200 мг/кг. Выявлен ингибирующий эффект нефтепродуктов (начиная с концентрации 500 мг/кг) на динамику и энергию прорастания семян овса посевного, всхожесть, а при более высоких концентрациях – и на развитие первичного корня.

Результаты исследований на содержание в почве агрохимических компонентов показали, что в почве содержится значительное количество подвижного фосфора и незначительное количество нитратного азота. Накопление фосфатов может быть обусловлено низкой усвояемостью исследуемыми сельскохозяйственными культурами фосфора.

Список использованных источников

1. **Gamage S.S.W., Masakorala K., Brown M.T., Gamag S.M.K.W.** Tolerance of *Impatiens balsamina* L. and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 2020. Vol. 188. P. 109911.
2. **Карпенко Н.П., Ширяева М.А.** Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий // *Природообустройство*. 2023. № 1. С. 95-101.
3. **Pikovskii Yu., Gennadiev A.N., Chernyanskii S.S.** et al. The problem of diagnostics and standardization of the levels of soil pollution by oil and oil products. *Eurasian Soil Sci.* 2003. Vol. 36, № 9. Pp. 1010-1018.
4. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации, утв. 19 апреля 2017 г. № 176. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/71330e43fc48d840d4e7c44eb8e184f03207692/ (дата обращения: 25.04.2022).
5. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 25.04.2022).
6. **Бегляров Д.С., Бакштанин А.М., Костина Е.С.** Влияние типов и конструкций рыбозащитных сооружений на сохранение рыбных популяций внутренних водоемов страны // *Природообустройство*. 2019. № 5. С. 64-71.
7. **Кульнев В.В.** Бiotестирование почв на основе фрактальных характеристик растений / Насонов А.Н., Цветков И.В., Король Т.С. и др. // *Принципы экологии*. 2020. № 4 (38). С. 40-53.
8. **Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Редников С.Н.** Оценка влияния лесонасаждений на обоснование гидролесомелиоративных мероприятий и качество водной среды на водосборном бассейне // *Природообустройство*. 2023. № 2. С. 36-42.
9. OECD (2006) OECD-Guideline for the testing of chemicals (2003) Terrestrial plant test: 208: Seedling emergence and seedling growth test. <http://www.oecd.org/chemical-safety/testing/33653757.pdf>.
10. **El-Hashash E.F.** and Karima Mohamed El-Abasy K.M. Barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding, in *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*, Al-Khayri J.M., **Jain S.M.** and Johnson D.V. Eds., Cham: Springer. 2019. Vol. 5.

В концентрации 200 мг/кг значительное количество гибели клеток наблюдалось на 10-е сутки проведения эксперимента, а в концентрациях 500-1000 мг/кг – на 5-е сутки. Процент гибели клеток овса посевного составил до 36%, что в 10 раз превышает контроль.

По результатам проведенного полевого эксперимента и лабораторных исследований рекомендованный для рассматриваемой местности диапазон использования овса посевного как культуры-освоителя составляет ниже 200 мг/кг, при котором не выявлено ингибирующее действие на растения, что ниже общих рекомендаций 200...500 мг/кг.

References

1. **Gamage S.S.W., Masakorala K., Brown M.T., Gamag S.M.K.W.** Tolerance of *Impatiens balsamina* L. and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 2020, vol. 188, p. 109911
2. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A.** Assessment of the impact of oil production on the quality of water bodies in the Perm territory using GIS technologies // *Prirodoobustroystvo*. 2023. No. 1. P. 95-101.
3. **Pikovskii Yu., Gennadiev A.N., Chernyanskii S.S.**, et al. The problem of diagnostics and standardization of the levels of soil pollution by oil and oil products, *Eurasian Soil Sci.*, 2003, vol. 36, no. 9, pp. 1010-1018.
4. Decree of the President of the Russian Federation "On the Strategy of Environmental Safety of the Russian Federation for the period up to 2025" was approved by the President of the Russian Federation on April 19, 2017 No. 176. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/71330e43fc48d840d4e7c44eb8e184f03207692/. Access mode: 04/25/2022.
5. Federal Law No. 7-FZ (On Environmental Protection), 10.01.2002. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/. Access mode 04/25/2022.
6. **Beglyarov D.S., Bakshtanin A.M., Kostina E.S.** The influence of types and designs of fish protection structures on the conservation of fish populations of inland reservoirs of the country // *Prirodoobustroystvo*. 2019. No. 5. Pp. 64-71.
7. **Kulnev V.V.** Biotesting of soils based on fractal characteristics of plants / Nasonov A.N., Tsvetkov I.V., Korol T.S. et al. // *Principles of ecology*. 2020. No. 4 (38). P. 40-53.
8. **Karpenko N.P., Glazunova I.V., Rednikov S.N.** Assessment of the impact of forest plantations on the justification of hydroforestry measures and the quality of the aquatic environment in the catchment area // *Prirodoobustroystvo*. 2023. No. 2. P. 36-42.
9. OECD (2006) OECD-Guideline for the testing of chemicals (2003) Terrestrial plant test: 208: Seedling emergence and seedling growth test. <http://www.oecd.org/chemical-safety/testing/33653757.pdf>.
10. **El-Hashash E.F.** and Karima Mohamed El-Abasy K.M. Barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding, in *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*, Al-Khayri J.M., **Jain S.M.**, and Johnson D.V., Eds., Cham: Springer, 2019, vol. 5.

11. USEPA (1996) U.S. EPA-United States Environmental Protection Agency (1996) Ecological Effects Test Guidelines (OPPTS850.4200): Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test.

12. ГОСТ Р ИСО (Российские стандарты и стандарты ИСО) № 22030-2009; ISO 22030:2005: Качество почвы. Биологические методы. 2005, 2009.

13. **Быкова М.В., Пашкевич М.А.** Проблема промышленного загрязнения почв нефтепродуктами // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 67-1. С. 82-86.

14. **Ермакова Л.С.** Оценка устойчивости почв Пермского края к загрязнению углеводородами // Молодежная наука-2022: технологии, инновации. 2022. № 1 (1). С. 201-205.

15. Пермский край в цифрах. 2023: Краткий статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. URL: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Пермский%20край%20в%20цифрах%202023.pdf>.

16. ГОСТ Р 58595-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726631.pdf>.

Об авторах

Нина Петровна Карпенко, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник; SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; nkarpenko@yandex.ru

Ирина Викторовна Глазунова, канд. техн. наук, доцент; SPIN-код: 7508-2272, AuthorID: 127917; <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>; ivglazunova@mail.ru

Мargarita Александровна Ширяева, младший научный сотрудник; SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861; <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Ширяева М.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

11. USEPA (1996) U.S. EPA-United States Environmental Protection Agency (1996) Ecological Effects Test Guidelines (OPPTS850.4200): Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test.

12. GOST R ISO (Russian standards and ISO standards) No. 22030-. 2009; ISO 22030:2005: Soil quality. Biological Methods, 2005, 2009.

13. **Bykova M.V., Pashkevich M.A.** The problem of industrial soil pollution with petroleum products // Trends in the development of science and education. 2020. No. 67-1. pp. 82-86.

14. **Ermakova L.S.** Assessment of soil stability of the Perm territory to hydrocarbon pollution // Molodezhnaya nauka 2022: Technologies, innovations. 2022. No. 1(1). pp. 201-205.

15. Perm Region in numbers. 2023: A short statistical collection/ Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Perm Region. Access mode: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Permian%20kray%20b%20ciphers%202023.pdf>

16. GOST R58595-2019 is the national standard of the Russian Federation. Soils. Sampling. Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726631.pdf>

Author information

Nina P. Karpenko, DSc (Eng), Senior Researcher, PIN code: 3054-6462, Author ID: 532745; <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; nkarpenko@yandex.ru

Irina V. Glazunova, CSc (Eng), Associate Professor; SPIN code: 7508-2272, AuthorID: 127917; <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>; ivglazunova@mail.ru

Margarita A. Shiryayeva, Junior Researcher, SPIN-code: 4706-0330, AuthorID: 1081861; <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Karpenko N.P., Glazunova I.V., Shiryayeva M.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/10.26897/1997-6011-2024-2-21-27>

УДК 631.6: 330



РАЗВИТИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА НА ИННОВАЦИОННОЙ ОСНОВЕ

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. Материально-техническая база мелиоративного комплекса является основой обеспечения любого производственного процесса, во многом определяя эффективность, и имеет свою специфику. Тем не менее в настоящее время ее состояние в целом является неудовлетворительным. Отсутствие эффективных механизмов управления инновациями, недостаточное развитие систем стимулирования наукоемких технологий этой области и низкий уровень мелиоративного спроса на инновационную продукцию сдерживают развитие комплекса. Необходимы переход на передовые, инновационные технологии, создание различных организационных структур, механизмов управления и контроля инновациями, проработка систем стимулирования наукоемких технологий и благоприятной среды для их масштабирования и распространения. Для поддержки, продвижения и реализации инновационных технологий создаются различные структуры, объединяющие науку, производство и образование. Это и агротехнопарки, центры трансфера технологий, бизнес-инкубаторы и службы сельскохозяйственного консультирования. Основная цель исследований заключалась в разработке алгоритма принятия решений по сценарию развития и необходимости модернизации материально-технической базы мелиоративного комплекса. В статье рассмотрена структура материально-технической базы, представлены факторы влияния, принципы совершенствования с позиции технико-технологической модернизации инфраструктурного обеспечения, предложены критерии эффективности оценки при планировании и реализации инноваций. Система показателей должна помогать оценить текущее положение и характеризовать эффективность изменений.

Ключевые слова: мелиоративный комплекс, материально-техническая база, инновации, ресурсосбережение, модернизация

Формат цитирования: Журавлева Л.А., Алдиаб Анас. Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе // Природообустройство. 2024. № 2. С. 21-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-21-27>

Original article

DEVELOPMENT OF THE MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF THE RECLAMATION COMPLEX ON AN INNOVATIVE BASIS

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. The material and technical base of the reclamation complex is the basis for ensuring any production process and has its own specifics. Nevertheless, at present her condition is generally unsatisfactory. The hindering factors in the development of the reclamation complex are the lack of innovation management mechanisms, the imperfection of the incentive system for high-tech technologies and demand for innovative products, etc. It is necessary to switch to an innovative technical and technological structure, create a number of organizational structures and mechanisms for managing and controlling innovations, a system for stimulating high-tech technologies and a favorable environment for scaling and spreading innovations. The institutional instruments for implementing innovation policy and providing information support are agrotechnoparks, technology transfer centers, business incubators, and agricultural consulting services. The purpose of the research is to develop methodological recommendations for the development of the material and technical base of the reclamation complex based on an innovative approach. The article highlights the patterns and principles of improving

the material and technical base of the reclamation complex. The structure and principles of improving the material and technical base of the reclamation complex are given. The tools for ensuring modernization, replenishment and renewal of the material and technical base of the reclamation complex are described. The factors of formation and development of the material and technical base are considered. An algorithm for planning modernization, renewal and replacement of the material and technical base and criteria for evaluation effectiveness are proposed.

Keywords: reclamation complex, material and technical base, innovations, resource saving, modernization

Format of citation: Zhuravleva L.A., Aldiab Anas. Development of the material and technical base of the reclamation complex on an innovative basis // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 21-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-21-27>

Введение. Повышение конкурентоспособности аграрного производства требует внедрения эффективных и надежных технических систем, машин и оборудования, обеспечивающих новые технологии возделывания агрокультур и щадящее воздействие на природную среду.

Состояние материально-технической базы мелиоративного комплекса оставляет желать лучшего. Более 50% основных фондов изношены, а внедрение новой техники в сельскохозяйственное производство составляет всего 20% от необходимого уровня [1, 2], что неблагоприятно сказывается на финансово-хозяйственной деятельности предприятий и может создавать дополнительные риски для продовольственной безопасности страны. Кроме того, это препятствует успешной реализации стратегии импортозамещения.

Необходимым является внедрение механизмов, позволяющих осуществлять эффективное взаимодействие бизнеса и научного сообщества для продвижения, коммерциализации инноваций и внедрения разработок «по заказу бизнеса» и потребителей.

Совершенствованию инфраструктуры АПК, проблемам и стратегиям развития, оценке материально-технической обеспеченности отраслей посвящены работы многих ученых [3-13].

Необходимо выделить особенности МТП мелиоративной отрасли, факторов, ее формирующих, и инструментов, на нее воздействующих.

Цель исследований: разработка алгоритма принятия решений по сценарию развития и для необходимости модернизации материально-технической базы мелиоративного комплекса.

Материалы и методы исследований. *Определение терминологии.* Материально-техническая база включает в себя технические средства, сооружения, многолетние насаждения, средства защиты растений, сырье, материалы, инвентарь, топливо и др. Все элементы материально-технической базы взаимодействуют и объединяются в технологические системы и организационные структуры.

Вопрос о том, рассматривать земельные ресурсы в составе материальной технической базы [3, 4] или как отдельную категорию [5], до сих пор является предметом споров и разногласий.

Необходимо отметить важность учета земельных угодий как основного фактора. Поскольку понятия физико-механических, химических свойств почвы и плодородия кардинально отличаются и для получения одной урожайности требуются различные технологии и технические средства, необходим дифференцированный подход к оценке затрат на производство единицы продукции.

Материально-техническая база представляет собой целый ряд взаимосвязанных компонентов (рис. 1). Из наиболее значимых можно выделить земельные ресурсы (почвенно-климатические условия, рельеф и размер участков), основные средства (машины и оборудование, здания и сооружения), оборотные средства (сырье, расходные материалы, топливо-смазочные материалы, удобрения и химикаты).

На все эти компоненты оказывают влияние, являются средой, оболочкой технологии, технологические приемы производства работ, информационные ресурсы и имеющийся инновационный потенциал.

Инфраструктура мелиоративного комплекса имеет свои уникальные особенности развития и взаимодействия со всеми подсистемами агропромышленного комплекса (рис. 2). Можно выделить следующие основные факторы формирования, замещения и модернизации МТБ мелиоративного комплекса: природные, технико-технологические, организационно-экономические и внешние политэкономические.

К основным природным факторам можно отнести свойства почвы и выращиваемых агрокультур, климатические условия, рельеф местности, сезонность.

К технико-технологическим факторам отнесем уровень производства, фондооснащенность,



Рис. 1. Структура материально-технической базы

Fig. 1. Structure of the material and technical base



Рис. 2. Факторы влияния на материально-техническую базу

Fig. 2. Factors influencing the material and technical base

уровень износа фондов, уровень техники и организации производства, состав комплексов машин, возможности сервиса и ремонта.

Из организационно-экономических факторов следует выделить инвестиционную привлекательность, инвестиционно-инновационный потенциал, доступность рынков, кадровое обеспечение и др.

К внешнеполитическим можно отнести конъюнктуру рынка, финансово-кредитную и налоговую политику, системы и программы государственной поддержки и т.д.

Поскольку сельское хозяйство, и мелиорация – в частности, связано в основном с объектами и процессами природы, то и важнейшими, формирующими материально-техническую базу мелиоративного комплекса, являются природные факторы.

Значительная часть сельскохозяйственных угодий РФ является неблагоприятной для выращивания сельскохозяйственных культур и требует проведения мелиоративных мероприятий. Половина земель расположена в районах с недостаточной влагообеспеченностью, другая половина, напротив, излишне увлажнена, заболочена, подвержена водной эрозии [8, 9].

Результаты и их обсуждение. Анализируя составляющие элементы МТП, можно выделить направления, идеи модернизации материально-технической базы мелиоративного комплекса (рис. 3).

В технико-технологической модернизации:

- применение адаптивных и ресурсосберегающих технологий;

- применение цифровых и роботизированных систем;

- технологий точного земледелия и систем позиционирования;

- развитие нанотехнологий;

- техническая модернизация машин и механизмов и др.



Рис. 3. Принципы совершенствования мелиоративного комплекса

Fig. 3. Principles of improvement of the reclamation complex

В инфраструктурном обеспечении модернизации:

- разработка и применение карт урожайности и рентабельности;
- стимулирование спроса на инновации;
- информационное сопровождение;
- технологический аудит и др.

Глобальное устаревание машин, технических средств в еще большей степени актуализирует задачу инновационной реструктуризации материально-технической базы. Тормозящими факторами являются неразвитость механизмов управления инновационной деятельностью, регулирования и стимулирования спроса на наукоемкие технологии и продукцию и др.

Инновационный потенциал агропромышленного комплекса РФ используется максимум на 5% [2]. Для успешной адаптации к современным требованиям важно инициировать изменения в техническое и технологическое развитие, внедрить новые организационные структуры, улучшить механизмы управления и контроля за инновациями. Кроме того, требуется разработка системы поощрения развития и использования наукоемких технологий, создания благоприятных условий для их масштабирования и распространения.

Пополнение, модернизация существующей и инновационное обновление материально-технической базы немислимы без надлежащей системы государственной поддержки, которая должна в первую очередь поддерживать и стимулировать инновационно-инвестиционную деятельность (рис. 4).

Обеспечение материально-техническими ресурсами мелиоративного комплекса включает в себя определение текущей и перспективной потребности, поиск поставщиков, доставку,



Рис. 4. Инструменты и механизмы воздействия на МТБ

Fig. 4. Tools and mechanisms for influencing MTB

контроль качества, прием, хранение и подготовку к производству, учет и контроль за расходованием ресурсов.

Для поддержки, продвижения и реализации инновационных технологий создаются различные структуры, объединяющие науку, производство и образование. Это и агротехнопарки, центры трансфера технологий, бизнес-инкубаторы, и службы сельскохозяйственного консультирования (рис. 5).



Рис. 5. Институциональные инструменты

Fig. 5. Institutional tools

Создание новых структур требует значительных капитальных вложений со стороны госструктур, но это один из главных путей выхода на новый уровень отрасли. Необходимо отметить, что инновационная деятельность и развитие могут стимулироваться инвестициями не только от государства, но и от частного инвестора.

Одной из ключевых ролей, которую должны играть новые структуры и механизмы, является преобразование научных знаний и исследований ученых в прикладные технологии, инновационные продукты, современные и качественные машины и механизмы, результативные методы управления. На базе таких структур, как агротехнопарки, бизнес-инкубаторы, должны осуществляться и подготовка квалифицированных кадров, и информационная поддержка области.

Возможный алгоритм принятия решений при планировании вариантов модернизации, обновления и замены материально-технической базы представлен на рисунке 6.

Оценить полученные результаты можно с помощью системы показателей (рис. 7).

Систему показателей эффективности можно также подразделить на 3 категории: технико-технологические (степень освоения инноваций, повышение технико-технологического уровня и др.); производственно-экономические (повышение эффективности использования производственных мощностей и рентабельности производства, увеличение производительности труда и др.); эколого-экономические (восстановление и повышение плодородия почв, увеличение объема экологической продукции и т.д.).

Система показателей должна помочь оценить текущее положение и характеризовать эффективность изменений.

В качестве критерия эффективности инвестиций можно взять, например, максимальный прирост прибыли.

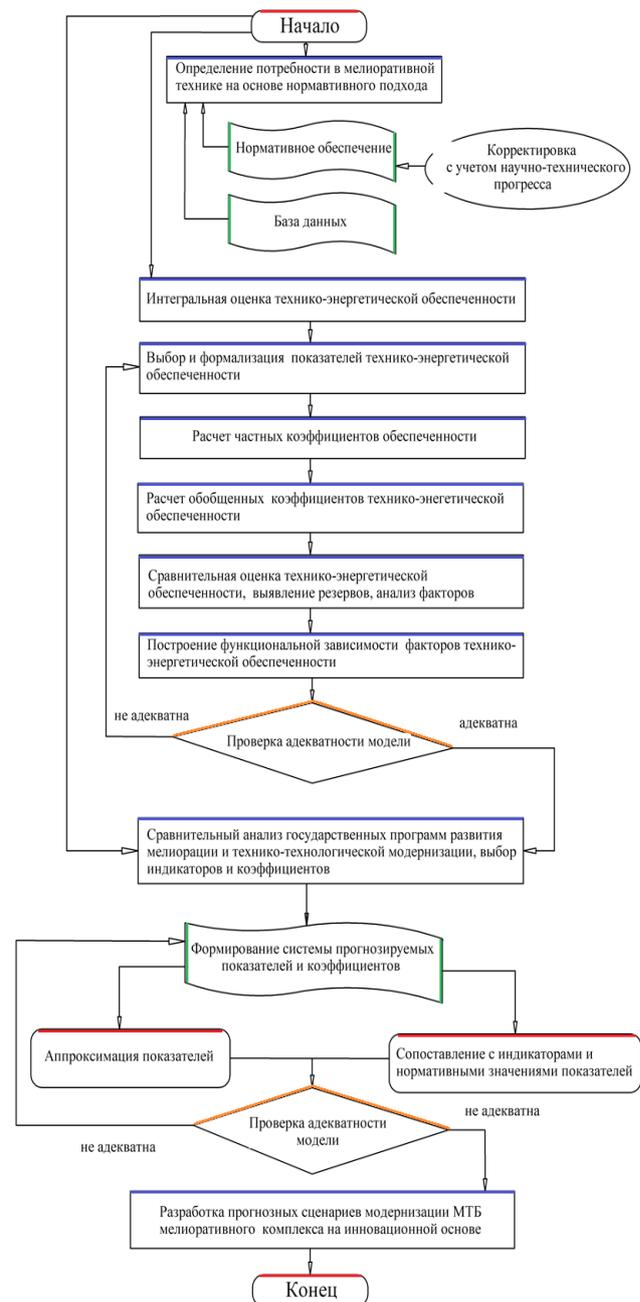


Рис. 6. Алгоритм принятия решений

Fig. 6. Decision-making algorithm

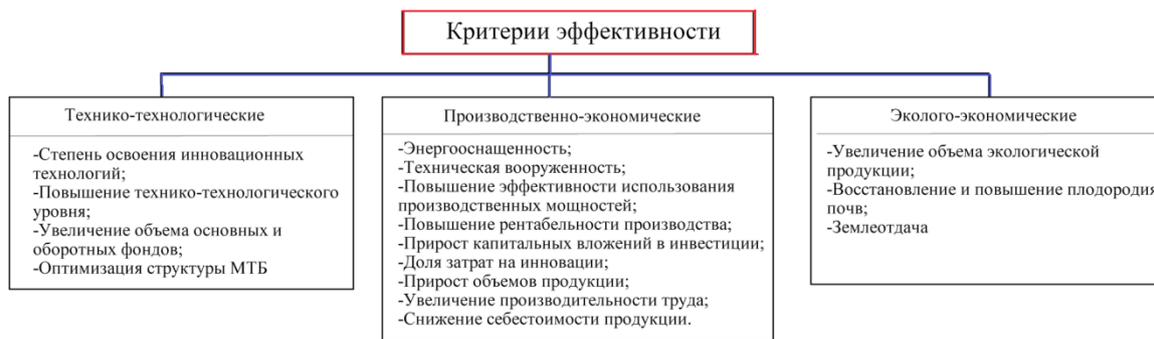


Рис. 7. Система показателей эффективности

Fig. 7. System of efficiency indicators

Определение потребности в агротехнике можно осуществить по традиционному нормативному методу, который основывается на нормативно-справочных материалах по планированию технического обеспечения.

С развитием технических средств, появлением новых технологий и управленческих методов необходимо периодически вносить соответствующие корректировки.

Выводы

Материально-техническая база мелиоративного комплекса является основой производственного процесса и требует коренных изменений.

Список использованных источников

1. Журавлева Л.А., Карпов М.В. Проведение научных исследований и разработка экономико-математического обоснования ведения информационно-консультационной деятельности с применением инновационных технологий: Монография. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. 77 с.
2. Журавлева Л.А., Попков И.А. Информационно-консультационная поддержка развития личных подсобных и фермерских хозяйств: Монография. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023. 128 с.
3. Глечикова Н.А. Воспроизводство материально-технической базы растениеводства как подсистемы АПК: типология, механизмы организации, индикаторы, инструменты развития. Майкоп: Изд-во АГУ, 2013. 304 с.
4. Курьяков И.А., Метелёв С.Е. Основы экономики, организации и управления сельскохозяйственным производством: Учебное пособие. Омск: Издатель ИП Васильев В.В., 2008. 501 с.
5. Водяников В.Т., Лысюк А.И., Кухарев О.Н. и др. Организация, экономика и управление производством на сельскохозяйственных предприятиях: Учебник / Под ред. В.Т. Водяникова. М.: Издательский дом «Колос-с», 2018. 552 с.
6. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Бахтияев Р.Н. Цифровые технологии в сельском хозяйстве // Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 95-98.
7. Журавлева Л.А. Формирование системы машин для полива сельскохозяйственных культур // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий: Сборник

Необходимы переход на современные, инновационные технологии, реструктуризация систем управления, разработка и внедрение механизмов управления и контроля за инновациями.

На основании анализа структуры материально-технической базы, факторов влияния, принципов управления разработан алгоритм принятия решений по сценарию развития и необходимости модернизации материально-технической. Сформулированы критерии эффективности оценки при планировании и реализации инноваций, помогающие оценить текущее положение и охарактеризовать эффективность изменений.

References

1. Zhuravleva L.A., Karpov M.V. Conducting scientific research and developing an economic and mathematical justification for conducting information and consulting activities using innovative technologies. Monograph. M.: Publishing house: RSAU – MAA named after C.A. Timiryazev. 2022. 77 p.
2. Zhuravleva L.A., Popkov I.A. Information and consulting support for the development of personal subsidiary farms and farms. Monograph. M.: Publishing house: RSAU – MAA named after C.A. Timiryazev. 2023. 128 p.
3. Glechikova N.A. Reproduction of the material and technical base of crop production as a subsystem of the agro-industrial complex: typology, organization mechanisms, indicators, development tools. Maikop: Publishing House of ASU, 2013. 304 p.
4. Kuryakov I.A., Meteleev S. Well. Founding of cosmopolitanism, organizations and managements of the countryside. Equipment. Омск: publisher IP Vasilev V.V., 2008. 501p.
5. Organization, economics and management of production of rural agricultural enterprises / V.T. Vodiannikov, A.I. Lysyuk, O.N. Kuharev et al.; edited by V.T. Vodiannikova. Textbook. M.: ICC "Koloss" 2018. 552 p.
6. Solovyov D.A. Digital technologies in agriculture/ D.A. Solovyov, L.A. Zhuravleva, R.N. Bakhtiev // Agrarian Scientific Journal. 2019. No. 11. P. 95-98.
7. Zhuravleva L.A. Formation of a system of machines for watering crops / Problems and prospects of development of agriculture and rural areas: collection of articles

материалов II Международной научно-практической конференции. Саратов: КУБиК, 2013. 208 с.

8. **Санду И.С., Полухин А.А., Бурак П.И.** Формирование стратегических направлений модернизации технической базы сельского хозяйства на региональном уровне // Экономика сельского хозяйства России. 2014. № 10. С. 11-19.

9. **Полухин А.А.** Основные направления воспроизводства материально-технической базы сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. 2012. № 12. С. 57-63.

10. **Гурнович Т.Г., Агаркова Л.В., Индюков А.И.** Трансформации и тенденции изменения материально-технической базы сельскохозяйственного производства в региональной агроэкономической системе // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 50. С. 7-12.

11. **Голубева А.И. и др.** Государственная аграрная политика – основа стабильного развития сельского хозяйства страны и ее регионов // Индустриальная экономика. 2022. Т. 1, № 4. С. 54-65.

12. **Галиуллина Э.И.** Современные тенденции развития агропромышленного комплекса России // Экономические науки. 2023. № 4 (221). С. 112-115.

13. **Галустова Э.А., Гурнович Т.Г.** Инновационное проектирование материально-технической базы сельскохозяйственного производства // Вестник науки. 2023. Т. 2, № 1 (58). С. 21-29.

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

Алдиаб Анас, аспирант кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ; 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 17.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.02.2024

of the II International scientific and practical conference. Saratov: KUBiK, 2013, 208 p.

8. **Sandu I.S.** Formation of strategic directions for modernization of the technical base of agriculture at the regional level / I.S. Sandu, A.A. Polukhin, P.I. Burak // The economics of agriculture in Russia. 2014. No. 10. P. 11-19.

9. **Polukhin A.A.** The main directions of reproduction of the material and technical base of agriculture in Russia // Agro-industrial complex: economics, management. 2012. No. 12. P. 57-63.

10. **Gurnovich T.G.** Transformations and trends in the material and technical base of agricultural production in the regional agro economical system / T.G. Gurnovich, L.V. Agarkova, A.I. Induykov // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2014. No. 50. P. 7-12.

11. **Golubeva A.I.** State agrarian policy – the basis for the stable development of agriculture in the country and its regions / A.I. Golubeva [et al.] // Industrial economy. 2022. No. 4, volume 1, No. 4. P. 54-65.

12. **Galiullina E.I.** Modern trends in the development of the agro-industrial complex of Russia / E.I. Galiullina // Economic sciences. 2023. No. 4 (221). P. 112-115.

13. **Galustova E.A., Gurnovich T.G.** Innovative design of the material and technical base of agricultural production // Bulletin of Science No. 1 (58) volume 2. P. 21-29. 2023.

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

Aldiab Anas, post graduate student of the department of organization and technologies of hydro reclamation and building works; anasaldiab123@gmail.com

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/10.26897/1997-6011-2024-2-28-34>

УДК 633.34:631.67 (470.44)



СЕМЕНОВОДСТВО СОИ НА ОРОШЕНИИ В УСЛОВИЯХ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М.Г. Загоруйко^{1✉}, М.Е. Бельшкينا¹, М.С. Садаев²¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологий и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные этапы возделывания сои с использованием орошения в засушливых условиях Левобережья Саратовской области. Цель работы – проанализировать технологию возделывания сои на орошении в засушливых условиях Саратовской области, установить оптимальные периоды и нормы полива. Представлена краткая технологическая схема, включающая в себя подготовку почвы, посев, орошение, уборку и послеуборочную доработку сои. В условиях Левобережья Саратовской области необходимо возделывать сою на семенные цели с использованием районированных сортов, строго в соответствии с агротехнологией и на орошении. Критическими для сои фазами развития по чувствительности к недостатку влаги являются фазы цветения-образования бобов-налива семян, длительность которых составляет 1,5-2 месяца. В этот период влажность почвы в слое 0,5-0,7 м должна быть не ниже 60-65%, наименьшая влагоемкость (НВ) – на легких почвах, 70% НВ – на средних, 75-80% НВ – на тяжелых почвах. При этом необходимо учитывать глубину залегания грунтовых вод, чтобы избежать их смыкания с поливной водой. Суммарная водопотребность с учетом коэффициента использования воды (КИВ) и коэффициента полезного действия оросительной системы (КПД) орошаемых участков составляет для полива сои 296-518 тыс. м³ за поливной период в зависимости от условий влагообеспеченности вегетационного периода. При этом последний полив, проводимый в условиях саратовского Левобережья в августе, должен осуществляться строго с учетом прогнозируемых погодных условий.

Ключевые слова: соя, технология возделывания, орошение, семеноводство

Формат цитирования: Загоруйко М.Г., Бельшкينا М.Е., Садаев М.С. Семеноводство сои на орошении в условиях Левобережья Саратовской области // Природообустройство. 2024. № 2. С. 28-34. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-28-34>

Scientific article

SEED PRODUCTION OF SOYBEANS UNDER IRRIGATION IN THE CONDITIONS OF THE LEFT BANK OF THE SARATOV REGION

M.G. Zagoruiko^{1✉}, M.E. Belyshkina¹, M.S. Sadaev²¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia²Saratov state university of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, prospect named after Petr Stolypin, bld. 4, constr. 3, Russia

Abstract. The article discusses the main stages of soybean cultivation using irrigation in the arid conditions of the Left Bank of the Saratov region. The purpose of the work is to analyze the technology of soybean cultivation under irrigation in the arid conditions of the Saratov region, to establish optimal irrigation periods and norms. A brief technological scheme is presented, including soil preparation, sowing, irrigation, harvesting and post-harvest refinement of soybeans. In the conditions of the Left Bank of the Saratov region, it is necessary to cultivate soybeans for seed purposes using zoned varieties, strictly in accordance with agro technology and irrigation. Compliance with agro technological techniques allows you to obtain stable soybean yields with minimal application of herbicides and rational use of irrigation water. Depending on the conditions of moisture availability of the growing season, from 3 to 5 watering is carried out with a rate of 450-600 m³ / ha. Watering is usually carried out from mid-June to mid-August. If dry conditions form after germination, the first watering is carried out even earlier – in the phases of formation of 2-3 nodes on the plant. Critical phases of development

for soybeans in terms of sensitivity to lack of moisture are the phases of flowering – bean formation – seed filling, this period lasts the duration of which is 1.5-2 months. During that period, the soil moisture in the 0.5-0.7 m layer should be at least 60-65% the lowest moisture capacity (LC) on light soils, 70% LC on medium and 75-80% LC on heavy soils. At the same time, it is necessary to take into account the depth of groundwater in order to avoid their contact with irrigation water. The total water demand, taking into account the coefficient of water use (CWU) and the efficiency of irrigated areas, is 296-518 thousand for soybean irrigation m^3 per irrigation period, depending on the conditions of moisture availability during the growing season. At the same time, the last watering carried out in the conditions of the Saratov Left Bank in August should be carried out strictly taking into account the predicted weather conditions.

Keywords: soybeans, cultivation technology, irrigation, seed production

Format of citation: Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Sadaev M.S. Seed production of soybeans under irrigation in the conditions of the Left Bank of the Saratov region // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 28-34. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-28-34>

Введение. Соя является уникальным инновационным продуктом, который решает проблему нехватки белка в целом ряде сфер. Помимо пищевого направления, соя активно используется при получении животного белка. Например, при производстве кормов в животноводстве используются шрот, жмых, молоко, зеленый корм, соя экстрадированная. За последние два года мощности по глубокой переработке сои возросли на 2,5 млн т [1]. Повышенный спрос со стороны маслоэкстракционных заводов и животноводов удерживают цены на соевое сырье круглогодично на высоком уровне. Семена сои содержат протеин в количестве 32-40%, витамины группы А, В, D, жиры и углеводы [2].

При высокой стоимости товарной сои, стабильной урожайности и обеспечении высокого качества семян при возделывании культуры на орошении, при условии субсидирования по программам Минсельхоза России, на фоне намечающегося снижения поставок семенного материала особенно актуальным является развитие семеноводства сои на орошении в условиях Левобережья Саратовской области.

В 2023 г. в Саратовской области под соей была занята площадь в 47,1 тыс. га. При этом в области реализуется проект «Международная кооперация и экспорт» в рамках федеральной программы «Экспорт продукции АПК», которая субсидирует затраты на ввод орошаемых земель [3]. В 2023 г. в области было введено 10,6 тыс. га орошаемых земель. Опыт возделывания сои на орошении показывает весомое увеличение урожайности до уровня 2,5-3,5 т/га при средней урожайности по России на уровне 1,5 т/га.

В условиях санкционного давления в настоящее время нарушены поставки семян сои. Согласно материалам аналитического агентства Ruseed импорт семян сои в Российской

Федерации снижен на 25% [4]. По данным агентства, обеспеченность сельскохозяйственных предприятий Дальнего Востока семенами собственного производства составляет около 75%, но в Поволжье данный показатель значительно выше, что говорит об актуальности семеноводства сои на орошении.

Материалы и методы исследований. Полевые исследования проводили на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Вавиловского университета (с. Степное Энгельсского района Саратовской области), УНПК «Агроцентр» Вавиловского университета.

Результаты и их обсуждение. На территории Левобережья Саратовской области ежегодно устанавливается высокая температура, и уже начиная с середины мая для региона характерны частые суховеи и отсутствие влаги в критически важные фазы вегетационного периода растений. Засухи могут носить как локальный (до 30% территории), так и чрезвычайный (до 100% территории) характер распространения [5, 6]. Поддержание запланированной урожайности сои на территории Левобережья Саратовской области может быть обеспечено только с использованием орошения.

В весеннее время необходимо провести работы по боронованию и предпосевной культивации почвы. Боронование, по исследованиям А.Г. Бойко, способствует эффективному сохранению влаги в почве, что в последующем снижает оросительные расходы [7]. Потеря влаги в боронованной почве находится на уровне $15 m^3/га$, что в 3 раза меньше аналогичных потерь без применения данного приема. Дополнительным приемом, используемым для улучшения распределения воды при обработке почвы под орошение, является щелевание. Проводится нарезка щелей на глубину 35-40 см с расстоянием между щелями 1,2-1,5 м.

Применяются щелерезы ЩНБ-5,4, ПБФР-5(Щ) или аналоги.

Одним из важнейших факторов, влияющих на будущую урожайность, является выбор способа посева и нормы высева, который обеспечивает равномерный доступ растений к питательным веществам и влаге [8]. При этом необходимо подбирать оптимальную густоту растений на единицу площади, чтобы не допустить снижения потенциальной урожайности. Формирование густоты растений сои определяется особенностями формирования габитуса растений – в зависимости от того, к какому типу (детерминантному или индетерминантному) они относятся.

В условиях сухостепной зоны были проведены исследования по возделыванию на орошении сортов сои Бара, Соер 4, Самер 1, Самер 3, Арлета и формы Л-009-0077, и урожайность составила 3,2-3,9 т/га (рис. 1) [9]. Ширина междурядий варьировала от 15 до 30 см. В результате исследований было установлено, что ширина междурядий оказала значительное влияние на форму Л-09-0077, сорта Самер 1, Самер 2 и Соер 4, разница достигала 30%. Так, если при междурядье 15 см урожайность формы Л-09-0077 составила 2,3 т/га, то при междурядье 30 см – 3,5 т/га. Сорта Самер 3, Арлета и Бара сформировали практически одинаковую урожайность при обоих вариантах ширины междурядий, которая составила 2,5-3,0 т/га.

Ключевым фактором при выращивании сои в условиях Левобережья Саратовской области является поддержание оптимального водного режима орошением. С помощью данного приема можно независимо от погодных условий управлять основополагающими характеристиками, обеспечивая запланированную урожайность и содержание белка [10]. Для сои являются оптимальными следующие режимы орошения: 70%

НВ – в период от всходов до начала цветения; 80% НВ – в критический период цветения-налива семян с последующим снижением до 70% НВ [11].

Рациональная норма полива сои – от 300 до 550 м³/га. В зависимости от условий влагообеспеченности вегетационного периода проводится от 3 до 5 поливов с нормой 450-600 м³/га. Полив проводится, как правило, с середины июня до середины августа. Если после всходов формируются засушливые условия, первый полив производят еще раньше – в фазы формирования 2-3 узлов на растении. Критическими для сои фазами развития по чувствительности к недостатку влаги являются фазы цветения-образования бобов-налива семян, длительность которых составляет 1,5-2 месяца. В этот период влажность почвы в слое 0,5-0,7 м должна быть не ниже 60-65% НВ на легких почвах, 70% НВ – на средних, 75-80% НВ – на тяжелых почвах. При этом необходимо учитывать глубину залегания грунтовых вод, чтобы избежать их смыкания с поливной водой.

В Саратовском государственном университете генетики, биотехнологий и инженерии имени Н.И. Вавилова создаются экспериментальные полигоны с участками орошения на базе учебно-опытных хозяйств УНПО «Поволжье», УНПО «Муммовское», УНПК «Агроцентр». Структура семеноводческого хозяйства УНПО «Поволжье» приведена на рисунке 2.

Полигон представлен полями общей площадью 5291,11 га с производственными посевами на площади 3725 га и семеноводческими посевами на площади 1214 га. На базе учхоза сформирован мелиоративный участок с двумя круговыми и одной фронтальной машиной.

Эксперименты проводятся преимущественно с соей на орошении с учетом районирования. Три поля общей площадью

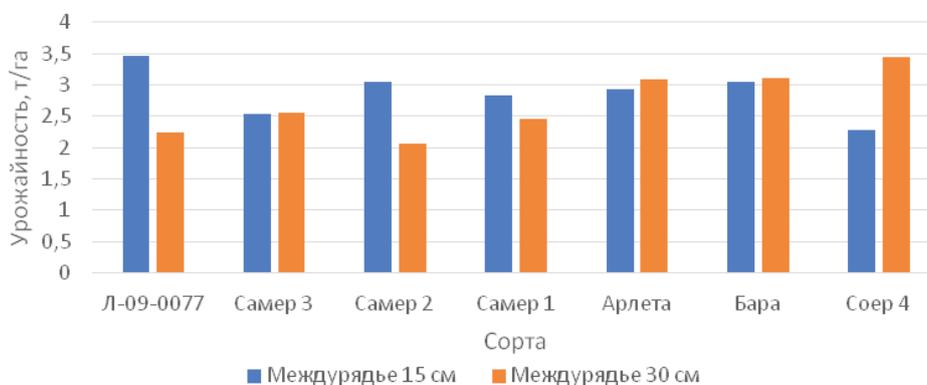


Рис. 1. Урожайность сои на орошении в зависимости от междурядий по исследованиям ученых Вавиловского университета и ВолжНИИГиМ

Fig. 1. Soybean yield under irrigation depending on row spacing according to research by scientists at Vavilov University and VolzhNIIGiM

267,9 га представляют собой орошаемый участок, который находится на хазарской террасе (QII-hz) реки Волги. Поверхность террасы – полого-наклонная с общим уклоном в сторону Волги, величина уклона составляет 0,002-0,003. Грунтовые воды на территории рассматриваемого массива орошения вскрыты на глубине от 3,7 до 16,0 м. Воды пресные гидрокарбонатно-сульфатные и гидрокарбонатно-хлоридные имеют различный катионный состав. Грунты зоны аэрации опробованы в основном до глубины 4,0 м и в большинстве своем характеризуются как незасоленные гидрокарбонатно-хлоридного и гидрокарбонатно-сульфатного типов засоления по всему разрезу. Почвы участка представлены темно-каштановым типом, среднесуглинистые по гранулометрическому составу. Рельеф орошаемого участка спокойный с небольшим уклоном (до 0,005) в юго-восточном направлении, с разностью отметок 0,1-0,6 м. Отметки варьируются от 337,1 м усл. до 337,7 м усл. Микрорельеф слабовыраженный с микровозвышениями и микротапинами в пределах 0,5 м. Источником орошения является существующая Гагаринская оросительная система ФГБУ «Управление Саратовмелиоводхоз».

Эффективно в условиях Левобережья области проводить дифференцированный полив, позволяющий поддерживать разные уровни влажности и глубины увлажняемого слоя в зависимости от развития корневой системы. Период полива (Т) площади (S) рассчитывается по формуле:

$$T = S \cdot m \cdot K / 3,6Q \cdot t \cdot \beta, \quad (1)$$

где S – площадь полива д.м., га; Q – расход д.м., л/с; t – период работы д.м., сут.; K – коэффициент испарения (1, 2); β – коэффициент рабочего времени (0,9).

Полив не должен вызывать неблагоприятные изменения почвы и подъем грунтовых вод. С целью прогнозирования этих процессов производится расчет подъема грунтовых вод по формуле баланса грунтовых вод:

$$1000 \cdot \Delta H_{op} \mu = \pm q + \Pi - Q, \text{ м}, \quad (2)$$

где H_{op} – подъем уровня грунтовых вод, м; 1000 – переводной коэффициент, мм; μ – коэффициент водоотдачи, которые равны отношению количество объема отданной воды к полному количеству, для песков 0,19-0,24, для суглинков 0,1-0,05, для глинистых грунтов менее 0,05; $\pm q$ – водообмен почвенных и грунтовых вод, мм; Π , Q – подземный приток и отток соответственно, мм.

Принимая, что $\Pi = 0$ и $Q = 0$, подъем УГВ рассчитываем по формуле:

$$\Delta H_{op} = (q/\mu) \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Значение водообмена определяется по формуле Ю.Н. Никольского [15]:

$$q = K_{\phi} \cdot T \cdot (\Theta)^n, \quad (4)$$

где T – расчетный период времени, равный вегетационному периоду (для сои T = 92 сут.); n – параметр, зависящий от типа почвы (для суглинков n = 6,0).

$$\Theta = \frac{W_{opt} - W_0}{\text{ПВ} - W_0} \quad (5)$$

где W_{opt} – оптимальная влагоемкость почвы, % объема; для кукурузы $W_{opt} = 18,9$, для сои $W_{opt} = 19,6$; W_0 – максимальная молекулярная влагоемкость, $W_0 = 13$; ПВ – полная влагоемкость, % объема; ПВ = 33.

Мелиоративный полигон УНПО «Поволжье» Вавиловского университета оборудован дождевальными машинами фирмы Lindsay (США) Zimmatic кругового действия, Zimmatic фронтального действия и ДМ «Кубань-ЛК1М» (Каскад) кругового действия [12].



Рис. 2. Структура посева на полигоне УНПО «Поволжье» в 2023 г.

Fig. 2. The structure of sowing at the UNPO «Volga region» landfill in 2023

Суммарная водопотребность с учетом КИВ и КПД орошаемых участков составляет для полива сои 296-518 тыс. м³ за поливной период в зависимости от условий влагообеспеченности вегетационного периода [13]. При этом последний полив, проводимый в условиях саратовского Левобережья в августе, должен осуществляться строго с учетом прогнозируемых погодных условий [14]. В последней фазе созревания сои избыточное увлажнение в сочетании с холодной температурой может привести к растрескиванию семян за счет высокой влажности бобов. Данный фактор способствует снижению урожайности до 15% и выбраковке семенного материала сои при ее сортировке.

Урожайность сортов сои на богаре и поливных участках на базе полигона УНПО «Поволжье» в 2019-2021 гг. представлена на рисунке 3 [15]. Наиболее продуктивным был сорт сои Соер 7 в варианте с орошением, его урожайность составила по годам исследований от 4,6 до 5,0 т/га. Далее следовал сорт Командор в варианте с орошением с урожайностью от 3,0 до 3,5 т/га. Наименьшая урожайность была у сорта Натали, в обоих вариантах составив 1,7-2,2 т/га.

В условиях повышенной влажности в период созревания сои и сохранения ее на уровне 45-47% необходимо провести десикацию. Применяются препараты Торнадо 500 (изопропиламинная соль), Торнадо 540 (калиевая соль), Суховой, Реглон Супер (дикват), Баста (глюфосинат аммония). Оптимальное время проведения обработки – при побурении 70-75% бобов.

Процесс уборки сои производится прямым комбайнированием зерновыми комбайнами с барабанной, роторной или гибридной системами обмолота [16]. Большое значение имеют подбор и настройка жатки, так как при осуществлении уборочных технологических операций на сое более 80% потерь связано с ее работой, что обусловлено высотой крепления нижнего боба, которая составляет 10-12 см. Максимально эффективно производить уборку жаткой типа Flex, так как данная технология уборки зернобобовых культур помогает эффективно в автоматическом режиме регулировать минимальную высоту среза стеблей на неровных поверхностях почвы [17]. Отечественные образцы представлены моделями Ростсельмаш Float Stream 700, ЖЗС-6 Flex, иностранные образцы – CLAAS Convio Flex, John Deere 630 Hydra Flex.

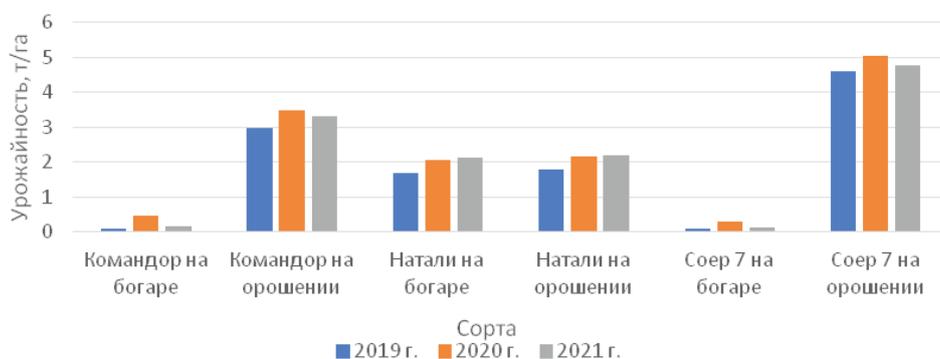


Рис. 3. Урожайность сои на орошении, полученная на полигоне Вавиловского университета в 2019-2021 гг.

Fig. 3. The yield of soybeans under irrigation obtained at the landfill of Vavilov University in 2019-2021

Выводы

В условиях Левобережья Саратовской области необходимо возделывать сою на семенные цели с использованием районированных сортов строго в соответствии с агротехнологией и с применением орошения. Соблюдение агротехнологических приемов позволяет получать стабильную урожайность сои при минимальном внесении гербицидов и рациональном расходовании оросительной воды.

В зависимости от условий влагообеспеченности в течение вегетационного периода производится от 3 до 5 поливов с нормой

450-600 м³/га с середины июня до середины августа. Если после всходов формируются засушливые условия, первый полив производят при сформировавшихся 2-3 узлах на растении. Критическими для сои фазами развития по чувствительности к недостатку влаги являются фазы цветения-образования бобов-налива семян, продолжительность которых составляет 1,5-2 месяца. В этот период влажность почвы в слое 0,5-0,7 м должна быть не ниже 60-65% НВ на легких почвах, 70% НВ – на средних, 75-80% НВ – на тяжелых почвах.

Список использованных источников

1. Бельшкينا М.Е., Гуреева Е.В. Сравнительный анализ биохимического состава сортов сои северного эко-типа и оценка их пригодности для переработки // Аграрная Россия. 2020. № 1. С. 35-39.
2. Ravelombola F., Acuña A., Florez-Palacios L., Wu Ch., Harrison D., deOliveira M., Winter J., DaSilva M., Roberts T., Henry Ch., Grignola F., Shakiba E., Mozzoni L. Impact of delaying irrigation on wilting, seed yield, and other agronomic traits of determinate MG5 soybean // *Agronomy*. 2022. Т. 12, № 5. С. 1115.
3. Министерство сельского хозяйства Саратовской области. [Электронный ресурс]. URL: https://www.minagro.saratov.gov.ru/development/index.php?ELEMENT_ID=12513 (дата обращения: 01.10.2023).
4. Ruseed прогнозирует снижение импорта семян сои на четверть. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/41381-ruseed-prognoziruet-snizheniya-importa-semyan-soi-na-chetvert/?ysclid=Irozwr9qe8280389390> (дата обращения: 16.11.2023).
5. Дорохов А.С., Бельшкينا 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.
6. Иванова Г.Ф., Ливичкая Н.Г., Демакина И.И. Пространственно-временные особенности формирования засух в условиях меняющегося климата Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о Земле». 2016. Т. 16. Вып. 4. С. 200-204.
7. Бойко А.Г. Основные приемы агротехники сои на орошаемых землях предгорий Алатау: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Алма-Ата: Казахстанский научно-исследовательский институт земледелия имени В.Р. Вильямса, 1973. 26 с.
8. Булавинцев Р.А. Эффективность возделывания сои в зависимости от способа сева и нормы высева / Головин С.И., Стебаков В.А., Полохин А.М. и др. // Вестник аграрной науки. 2023. Вып. 1 (100). С. 56-58.
9. Шадских В.А., Кравчук А.В. Возделывание семенных посевов перспективных сортов сои на орошение в сухостепной зоне Поволжья // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4 (20). С. 5-8.
10. Behtari B., Ghassemi Golezani K., Dabbagh Mohammadi Nasab A., Zehtabe Salmasi S., Toorchi M. Oil and protein response of soybean (*Glycine max* L.) seeds to water deficit // *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2011. № 3. С. 247-255.
11. Шадских В.А. Экологически обоснованные параметры дифференцированных режимов орошения основных сельскохозяйственных культур степной сухостепной зон Поволжья / Кизжаева В.Е., Романова Л.Г., Рассказова О.Л. // Орошаемое земледелие. 2019. № 2. С. 58-61.
12. Задорожний Р.Н., Романов И.В. Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 82-86.
13. Балакай Г.Т., Селицкий С.А. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 3 (35). С. 80-97.

References

1. Belyshkina M.E., Gureeva E.V. Comparative analysis of the biochemical composition of soybean varieties of the northern ecotype and assessment of their suitability for processing // *Agrarian Russia*. 2020. No. 1. P. 35-39.
2. Ravelombola F., Acuña A., Florez-Palacios L., Wu Ch., Harrison D., deOliveira M., Winter J., DaSilva M., Roberts T., Henry Ch., Grignola F., Shakiba E., Mozzoni L. Impact of delaying irrigation on wilting, seed yield, and other agronomic traits of determinate MG5 soybean // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. No. 5. P. 1115.
3. The Ministry of Agriculture of the Saratov region. [Electronic resource] – URL: https://www.minagro.saratov.gov.ru/development/index.php?ELEMENT_ID=12513 (date of issue: 01.10.2023)
4. Ruseed predicts a decrease in soybean seed imports by a quarter. [Electronic resource] – URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/41381-ruseed-prognoziruet-snizheniya-importa-semyan-soi-na-chetvert/?ysclid=Irozwr9qe8280389390> (accessed: 11/16/2023)
5. 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.
6. Ivanova G.F., Livitskaya N.G., Demakina I.I. Spatial and temporal features of the formation of droughts in the changing climate of the Saratov region // *Proceedings of the Saratov University A new series. Earth Science Series*. 2016. Vol. 16. Issue 4. P. 200-204.
7. Boyko A.G. Basic techniques of soybean agrotechnics on irrigated lands of the Alatau foothills: Abstract. diss. ... candidate of Agricultural Sciences. Alma-Ata.: Kazakh Scientific Research Institute of Agriculture named after V.R. Williams, 1973. 26 p.
8. Bulavintsev R.A., Golovin S.I., Stebakov V.A., Polokhin A.M., Volzhentsev A.V., Kozlov A.V., Pupavtsev I.E. Efficiency of soybean cultivation depending on the method of sowing and seeding rate // *Bulletin of Agrarian Science*. Issue. 1 (100). 2023. P. 56-58.
9. Shadskikh V.A., Kravchuk A.V. Cultivation of seed crops of promising soybean varieties for irrigation in the dry steppe zone of the Volga region // *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. № 4 (20). 2015. P. 5-8.
10. Behtari B., Ghassemi Golezani K., Dabbagh Mohammadi Nasab A., Zehtabe Salmasi S., Toorchi M. Oil and protein response of soybean (*Glycine max* L.) seeds to water deficit // *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2011. No. 3. P. 247-255.
11. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., Romanova L.G., Rasskazova O.L. Environmentally justified parameters of differentiated irrigation regimes of main agricultural cultures of steppe and dry-steppe zone of the Volga region // *Irrigated agriculture*. 2019. № 2. P. 58-61.
12. Zadorozhny R.N., Romanov I.V. Improving irrigation efficiency by selecting the design of sprinkler machines // *Agricultural machines and technologies*. 2023. vol. 17. No. 4. P. 82-86.
13. Balakai G.T., Selitsky S.A. Yield of soybean varieties during irrigation by sprinkling and drip irrigation systems in the Rostov region // *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Melioration*. 2019. № 3 (35). P. 80-97.

14. **Соловьев Д.А.** Результаты создания дождевальной машины «Фрегат», работающей в режимах при низких напорах / Загоруйко М.Г., Елисеев М.С., Колганов Д.А. // *Аграрный научный журнал*. 2017. № 2. С. 67-69.

15. **Кожкарлова Т.С.** Сравнительный анализ раннеспелых сортов сои в условиях юга России / Зейлигер А.М., Зинченко Е.В., Ермолаева О.С. // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 6. С. 15-20.

16. **Бельшклина М.Е., Старостин И.А., Загоруйко М.Г.** Пути совершенствования технологии уборки и послеуборочной доработки сои // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 8. С. 4-9.

17. **Липкань А.В.** Методика определения потерь зерна за жаткой и молотилкой комбайна при уборке сои / Кувшинов А.А., Усанов В.С., Смолянинова Н.О., Сахаров В.А. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16, № 1. С. 69-77.

14. **Soloviev D.A.** The results of creating a sprinkler machine «Frigate» operating in modes at low pressures / Zagoruiko M.G., Eliseev M.S., Kolganov D.A. // *Agrarian Scientific Journal*. 2017. No. 2. P. 67-69.

15. **Koshkarova T.S.** Comparative analysis of early-ripening soybean varieties in the conditions of southern Russia / Zeiliger A.M., Zinchenko E.V., Ermolaeva O.S. // *Successes of modern natural science*. No. 6. 2022. P. 15-20.

16. **Belyshkina M.E., Starostin I.A., Zagoruiko M.G.** Ways to improve the technology of harvesting and post-harvest refinement of soybeans // *Agrarian Scientific Journal*. No. 8. 2020. P. 4-9.

17. **Lipkan A.V.**, Methodology for determining grain losses behind the harvester and thresher of a combine harvester during soybean harvesting / Kuvshinov A.A., Usanov V.S., Smolyaninova N.O., Zakharov V.A. // *Agricultural machines and technologies*. T. 16. No 1. 2022. Pp. 69-77.

Об авторах

Михаил Геннадьевич Загоруйко, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ORCID: 0000-0001-7826-3773, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776; zagoruiko.misha2013@yandex.ru

Марина Евгеньевна Бельшклина, 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; vimsoya@yandex.ru

Максим Сергеевич Садаев, аспирант; Msadaev@cofcointernational.com

Author information

Mikhail G. Zagoruiko, CSc (Eng), associate professor, leading researcher; ORCID: 0000-0001-7826-3773, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, RSCI AuthorID: 323776; zagoruiko.misha2013@yandex.ru

Marina E. Belyshkina, DSc (Agro), leading researcher; ORCID: 0000-0001-7826-3773, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, RSCI AuthorID: 323776; vimsoya@yandex.ru

Maxim S. Sadaev, post graduate student; Msadaev@cofcointernational.com

Критерии авторства / Authorship criteria

Загоруйко М.Г., Бельшклина М.Е., Садаев М.С. 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 interests

клад авторов / Contribution of authors

Все авторы внесли 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 30.01.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Sadaev M.S. 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/10.26897/1997-6011-2024-2-35-40>

УДК 631.674.6:551.502.4:634 (470.0)



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ САЖЕНЦЕВ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ

Н.Н. Дубенок[✉], А.В. Гемонов, А.В. Лебедев

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

Аннотация. Орошение имеет важное значение при выращивании посадочного материала в плодовых и ягодных питомниках, которые находятся в зоне недостаточного или неустойчивого увлажнения, а также в Центральной части Нечерноземной зоны России, по причине неравномерности распределения осадков в течение сезона. Цель исследований – обоснование необходимости проведения оросительных мелиораций саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье с использованием агрометеорологических данных. Исследования по разработке технологии капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур проводились в условиях Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В исследованиях использовались данные наблюдений (температура воздуха, количество осадков, относительная влажность воздуха), полученные на Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, за 2018-2023 гг. Для оценки обеспеченности отдельных периодов вегетационного периода теплом и влагой производился расчет гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова и коэффициента увлажнения Д.И. Шашко. В результате анализа агрометеорологических данных доказана необходимость проведения орошения в условиях Центральной Нечерноземной зоны России. Количество дней с продуктивными осадками более 5 мм составляет 39% от общего количества дней, в которые выпадали атмосферные осадки, а их распределение в течение вегетационного периода является неравномерным, что может совпадать с жаркими периодами, когда растения характеризуются повышенным водопотреблением.

Ключевые слова: орошение, агрометеорологические данные, плодовые культуры, ягодные культуры, Нечерноземная зона России

Формат цитирования: Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Использование агрометеорологических данных для обоснования оросительных мелиораций саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье // Природообустройство. 2024. № 2. С. 35-40. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-35-40>

Original article

USE OF AGROMETEOROLOGICAL DATA TO JUSTIFY IRRIGATION MELIORATION OF SEEDLINGS OF FRUIT AND BERRY CROPS IN THE CENTRAL NON-BLACK EARTH REGION

N.N. Dubenok[✉], A.V. Gemonov, A.V. Lebedev

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

Abstract. Irrigation is important when growing planting material in fruit and berry nurseries, which are located in areas of insufficient or unstable moisture, as well as in the central part of the non-chernozem zone of Russia due to the uneven distribution of precipitation during the season. The purpose of the study is to substantiate the need for irrigation reclamation of seedlings of fruit and berry crops in the central Non-black earth region using agrometeorological data. Research on the development of drip irrigation technology for seedlings of fruit and berry crops was carried out in the Michurinsky garden of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The study uses observational data (air temperature, precipitation, relative air humidity) obtained at the Mikhelson Meteorological Observatory, for 2018-2023. To assess the provision of heat and moisture to individual periods of the growing season, the Selyaninov

hydrothermal coefficient was calculated. a and Shashko moisture coefficient. As a result of the analysis of agrometeorological data, the need for irrigation in the conditions of the central non-chernozem zone of Russia was proven. The number of days with productive precipitation of more than 5 mm is 39% of the total number of days on which precipitation fell, and its distribution during the growing season is uneven, which may coincide with hot periods when plants are characterized by increased water consumption.

Keywords: irrigation, agrometeorological data, fruit crops, berry crops, Non-chernozem zone of Russia

Format of citation: Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V. Use of agrometeorological data to justify irrigation melioration of seedlings of fruit and berry crops in the Central Non-black earth region // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 35-40. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-35-40>

Введение. Орошение имеет важное значение при выращивании посадочного материала в плодовых и ягодных питомниках, которые находятся в зоне недостаточного или неустойчивого увлажнения [1]. В литературе имеются данные о том, что засушливые периоды могут наблюдаться и в Центральной Нечерноземной зоне России, обусловленные неравномерностью распределения осадков в течение сезона [2-4]. При отсутствии поливов дефицит влаги может приводить к значительному ухудшению качества посадочного материала за счет нарушения водного и пищевого режимов растений [5].

Развитие садоводства невозможно без выращивания высококачественного посадочного материала, адаптированного к местным условиям, в питомниках с применением современных технологий. Поэтому актуальной задачей в производстве саженцев плодовых и ягодных культур является совершенствование технологий выращивания посадочного материала.

При выращивании саженцев плодовых и ягодных культур в питомниках находит применение широкий спектр способов полива: дождевание, полив по бороздам, напуск по полосам, капельное и внутрипочвенное орошение, комбинированные способы [3, 6]. В настоящее время отдается предпочтение малообъемному орошению, которое позволяет в значительной степени экономить поливную воду, а также отвечает требованиям физиологии плодовых и ягодных растений [7]. Как особенность их использования, можно выделить техническую возможность дозированной подачи поливной воды непосредственно в зону питания отдельно взятого растения. К недостаткам этих способов относится то, что при их использовании невозможно регулировать гидротехнический режим почвы и окружающего воздуха. Параметры режимов орошения зависят от метеорологических условий.

Цель исследований: обоснование необходимости проведения оросительных мелиораций саженцев плодовых и ягодных культур

в Центральном Нечерноземье с использованием агрометеорологических данных.

Материалы и методы исследований. Исследования по разработке технологии капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур проводились в условиях Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. На территории проведения исследований непосредственно агроклиматические показатели не фиксировались. В работе для их анализа используются данные наблюдений о температуре атмосферного воздуха, количестве выпавших осадков, об относительной влажности воздуха, которые были получены на Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, расположенной в непосредственной близости от опытного участка, за 2018-2023 гг.

Для оценки обеспеченности отдельных периодов вегетационного периода теплом и влагой производился расчет гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова [8] исходя из отношения суммы осадков за период с температурой бее 10°C ($\sum P$) и суммы температур более 10°C ($\sum t_{10}$):

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{\sum t_{10}} \times 10.$$

Для оценки степени тепловлагообеспеченности с использованием ГТК применяется шкала [9]: ГТК < 0,7 – засуха; 0,7 < ГТК < 1,0 – недостаточное увлажнение; 1,0 < ГТК < 2,0 – достаточное увлажнение; ГТК > 2,0 – избыточное увлажнение.

Кроме ГТК, дополнительно анализировался коэффициент увлажнения Д.И. Шашко (КУ) [10], который рассчитывается по данным о сумме осадков ($\sum P$) и сумме дефицитов влажности воздуха ($\sum d$):

$$\text{КУ} = \frac{\sum P}{\sum d}.$$

С использованием классификации значений КУ выделяются условия влагообеспеченности [11]: более 0,6 – избыточное увлажнение;

от 0,6 до 0,45 – достаточное увлажнение; от 0,45 до 0,35 – недостаточное увлажнение (требуется агротехнические мероприятия); от 0,35 до 0,25 – недостаточно увлажнения (требуется периодическое орошение); менее 0,25 – засушливые условия.

Анализ агрометеорологических данных выполнялся в табличном процессоре Microsoft Office Excel 2016.

Результаты и их обсуждение. К важным факторам, определяющим процессы роста и развития в питомниках саженцев плодовых и ягодных культур, относится количество поступающего тепла в течение вегетационного периода. По данным метеорологических наблюдений на Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, вегетационные периоды с 2018 по 2023 гг. характеризуются достаточно теплой погодой. Ход среднемесячных температур воздуха показан на рисунке 1. В среднем за годы исследований май характеризуется средней температурой 11,9°C, июнь – 16,0°C, июль – 18,1°C, август – 16,3°C, сентябрь – 10,7°C. Наиболее теплым является июль, но в некоторые годы, например, в 2018 и 2023 гг., самым теплым месяцем был август (19,8°C и 19,6°C соответственно).

Самые высокие значения среднесуточных температур за все годы исследований были достигнуты в 2021 г.: 24 июня – 28,6°C; 10 июля – 27,0°C. В ходе среднесуточных температур в течение вегетационного периода наблюдается смена жарких периодов более прохладными. Например, 26 мая 2023 г. среднесуточная температура воздуха составляла 18,9°C, к 3 июня снизилась до 9,6°C, а к 9 июня повысилась до 18,1°C. Наличие жарких периодов способствует повышению водопотребления растений, а их смена более прохладными – снижению водопотребления. Таким образом, параметры режимов капельного орошения будут находиться в прямой зависимости от обеспеченности теплом вегетационного периода.

Важную роль в обеспечении влагой играют атмосферные осадки, месячное количество которых за годы проведения исследований показан на рисунке 2. Усредненные данные о месячном количестве осадков с 2018 по 2023 гг. свидетельствуют о том, что в мае их сумма составляла 55 мм, в июне – 70 мм, в июле – 85 мм, в августе – 76 мм, в сентябре – 61 мм. К месяцам с наименьшим количеством выпадающих атмосферных осадков относятся май и сентябрь.

Максимальное количество осадков за сутки достигалось 28 августа 2023 г. (94 мм), 8 мая

2021 г. (69,4 мм), 26 июля 2023 г. (64 мм), 29 июня 2023 г. (56 мм), 24 сентября 2018 г. (54 мм). Среднее количество дней с осадками в мае-сентябре с 2018 по 2023 гг. составило 69, в том числе в 2018 г. – 55 дней, в 2019 г. – 68 дней, в 2020 г. – 77 дней, в 2021 г. – 83 дня, в 2022 г. – 76 дней, в 2023 г. – 55 дней. За май-сентябрь 2018-2023 гг. среднее количество дней с осадками более 5 мм составило 27, в том числе в 2018 г. – 20 дней, в 2019 г. – 14 дней, в 2020 г. – 36 дней, в 2021 г. – 35 дней, в 2022 г. – 28 дней, в 2023 г. – 27 дней.

Таким образом, количество дней с продуктивными осадками более 5 мм составило 39% от общего количества дней, в которые выпадали атмосферные осадки, а их распределение в течение вегетационного периода является неравномерным.

На рост и развитие плодовых культур оказывает влияние влажность воздуха [12]. Благоприятной для растений является влажность

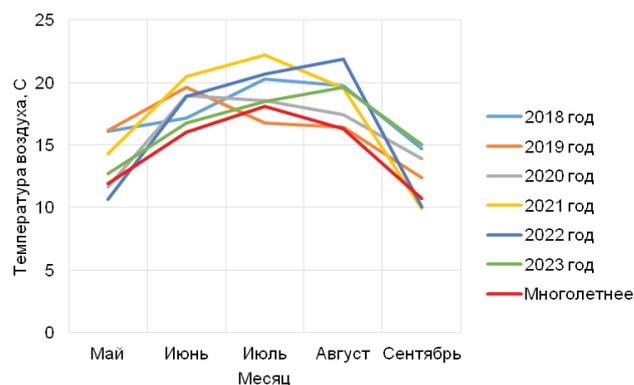


Рис. 1. Среднемесячные температуры воздуха за вегетационный период по годам исследований

Fig. 1. Average monthly air temperatures for the growing season according to the years of research

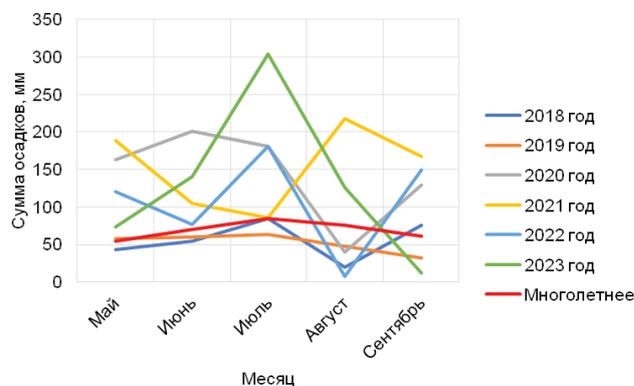


Рис. 2. Месячные суммы осадков за вегетационный период по годам исследований

Fig. 2. Monthly precipitation amounts for the growing season according to the years of research

воздуха на среднем (40-70%) или высоком уровнях (более 70%). Среднемесячные значения относительной влажности воздуха показаны на рисунке 3. Среднемесячные за 2018-2023 гг. значения влажности воздуха составили в мае 64%, в июне – 66%, в июле – 70%, в августе 73%, в сентябре – 78%.

Таким образом, на протяжении вегетационного периода в среднем наблюдается постепенный рост среднемесячной влажности воздуха. Своих максимальных значений среднемесячная влажность воздуха достигала в 2020 г. – с мая по август.

Среднемесячные значения гидротермического коэффициента по годам исследований показаны на рисунке 4. Многолетние усредненные значения по месяцам составили: в мае – 1,5; в июне – 1,5; в июле – 1,5; в августе – 1,5; в сентябре – 1,9. Анализ усредненных данных показывает, что за годы исследований в течение вегетационного периода наблюдается достаточное увлажнение. Но рассмотрение среднемесячного хода ГТК по отдельным годам показывает, что в отдельные месяцы наблюдается дефицит влаги: например, май 2018 г. – 0,9; август 2022 г. – 0,11; август 2018 г. – 0,3; сентябрь 2023 г. – 0,3.

Среднемесячные значения коэффициента увлажнения Д.И. Шашко за вегетационный период по годам исследований показаны на рисунке 3.10. Когда КУ составляет $< 0,5$, может возникать потребность в проведении дополнительного увлажнения путем проведения орошения. Средние многолетние значения КУ по месяцам составляют: май – 0,66; июнь – 0,86; июль – 0,88; август – 1,33; сентябрь – 1,7. В ряду наблюдений в отдельные годы на протяжении всего вегетационного периода коэффициент увлажнения не превышает 0,5. Например, в 2018 г. средний за вегетационный период КУ составил 0,25; в 2019 г. – 0,25. В остальные годы отмечены отдельные периоды, когда КУ понижается менее 0,5. Например, в августе 2022 г. – 0,02; в июле 2021 г. – 0,29; в мае 2023 г. – 0,41.

Анализ агроклиматических показателей как за годы исследований (2018-2023), так и многолетних, показывает, что в течение вегетационного сезона имеются отдельные периоды, когда создаются условия с недостаточным количеством поступающей влаги на фоне высоких среднесуточных температур и продолжительного отсутствия продуктивных атмосферных осадков. Рассчитанные среднемесячные гидротермические коэффициенты Г.Т. Селянинова и коэффициенты увлажнения Д.И. Шашкова также подтверждают наличие периодов с недостаточным

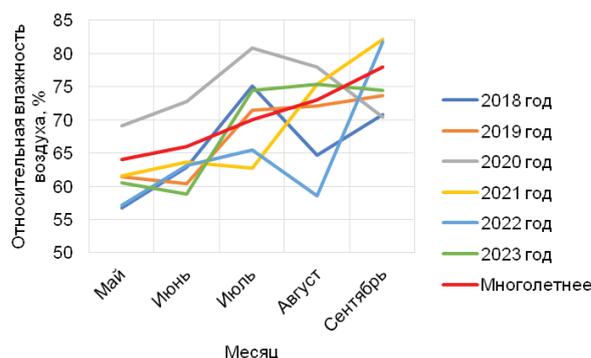


Рис. 3. Среднемесячная относительная влажность воздуха за вегетационный период по годам исследований

Fig. 3. The average monthly relative humidity of the air during the growing season according to the years of research

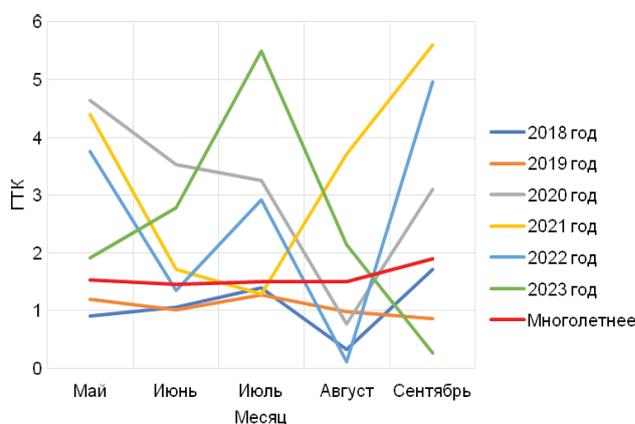


Рис. 4. Среднемесячные значения гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова за вегетационный период по годам исследований

Fig. 4. Average monthly values of G.T. Selyaninov's hydrothermal coefficient for the growing season according to the years of research

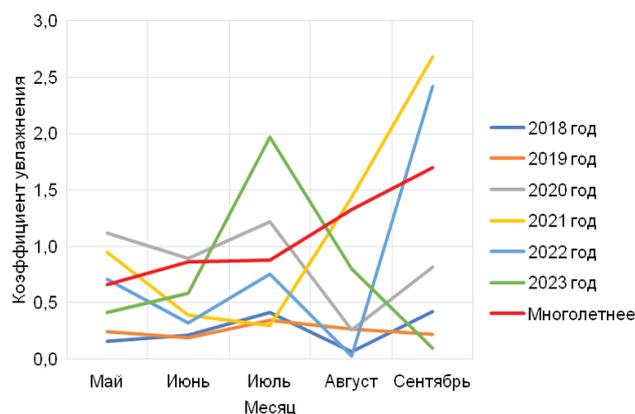


Рис. 5. Среднемесячные значения коэффициента увлажнения Д.И. Шашко за вегетационный период по годам исследований

Fig. 5. Average monthly values of D.I. Shashko's moisture coefficient for the growing season according to the years of research

увлажнением, когда требуется проведение оросительных мероприятий. В условиях плодовых питомников Центральной Нечерноземной зоны России показана целесообразность применения капельного орошения [13].

Выводы

В исследованиях на основании анализа таких показателей, как температура воздуха, количество осадков, относительная влажность воздуха, гидротермический коэффициент

Г.Т. Селянинова и коэффициент увлажнения Д.И. Шашкова, показана необходимость проведения орошения в условиях Центральной Нечерноземной зоны России. Количество дней с продуктивными осадками более 5 мм составляет 39% от общего количества дней, в которые выпадали атмосферные осадки, а их распределение в течение вегетационного периода является неравномерным, что может совпадать с жаркими периодами, когда растения характеризуются повышенным водопотреблением.

Список использованных источников

1. **Сторчоус В.Н.** Орошение плодового питомника // Система садоводства Республики Крым / Копылов В.И., Балькина Е.Б., Беренштейн И.Б. / ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь: Типография «Ариал», 2016. С. 184-185.
2. **Бородычев В.В., Криволюцкий А.А.** Водопотребление яблоневого сада интенсивного типа на шпалерной опоре // Мелиорация и водное хозяйство. 2012. № 1. С. 19-22.
3. **Дубенок Н.Н., Майер А.В.** Многолетние исследования гидротермического режима агроценозов и системы комбинированного орошения для его регулирования // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 2. С. 3-7. DOI: 10.31857/S2500262722020016.
4. **Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В., Градусов В.М.** Формирование саженцев сливы при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны // Известия ТСХА. 2019. № 6. С. 23-35. DOI: 10.34677/0021-342x-2019-6-23-35.
5. **Фоменко Т.Г., Попова В.П.** Формирование контуров увлажнения почвы при локальных малообъемных способах орошения плодовых насаждений // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 4. С. 22-27.
6. **Ольгаренко Г.В.** Технические средства для орошения плодово-ягодных насаждений // Вестник Коломенского государственного педагогического института. 2009. № 1 (7). С. 131-134.
7. **Копылов В.И.** Экономика, риски и перспективы развития отрасли пловодства в Крыму // Система садоводства Республики Крым / ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь: Типография «Ариал», 2016. С. 55-75.
8. **Борисова В.Ю., Баранова Н.В.** Анализ территориально-временного варьирования ГТК в условиях Крымского полуострова // Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 48. С. 13-15.
9. **Тентюков М.П., Тимушев Д.А.** Оценка погодной устойчивости перспективного гибрида картофеля для сельскохозяйственного производства в условиях среднетаежной зоны северо-восточного Нечерноземья России // Природообустройство. 2019. № 3. С. 48-53. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-3-48-53.
10. **Шашко Д.И.** Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 335 с.
11. **Черемисин А.Ю., Черемисин А.А., Краусов В.Д.** Определение потребности в гидромелиорации на основе оценки атмосферного увлажнения

References

1. **Storchous V.N.** Irrigation of a fruit nursery // Horticulture system of the Republic of Crimea / Kopylov V.I., Balykina E.B., Berenstein I.B., / FSAOU VO "V.I. Vernadsky Crimean Federal University", Academy of Bioresources and Environmental Management. Simferopol: LLC "Publishing House Printing House "Arial", 2016. P. 184-185.
2. **Borodychev V.V., Krivolutsky A.A.** Water consumption of an intensive apple orchard on a trellis support // Melioration and water management. 2012. No. 1. P. 19-22.
3. **Dubenok N.N., Mayer A.V.** Long-term studies of the hydrothermal regime of agrocenoses and the combined irrigation system for its regulation // Russian agricultural science. 2022. No. 2. P. 3-7. – DOI: 10.31857/S2500262722020016.
4. **Dubenok N.N.** Formation of plum seedlings under drip irrigation in a non-Chernozem zone / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev, V.M. Degrees // Izvestiya Timiryazevskaya Agricultural Academy. 2019. No. 6. P. 23-35. DOI: 10.34677/0021-342x-2019-6-23-35.
5. **Fomenko T.G., Popova V.P.** Formation of soil moisture contours with local low-volume irrigation methods of fruit plantations // Melioration and water management. 2016. No. 4. P. 22-27.
6. **Olgarenko G.V.** Technical means for irrigation of fruit and berry plantations // Bulletin of the Kolomna State Pedagogical Institute. 2009. No. 1 (7). P. 131-134.
7. **Kopylov V.I.** Economics, risks and prospects for the development of the fruit growing industry in the Crimea // Horticulture System of the Republic of Crimea / Federal State Educational Institution of Higher Education "V.I. Vernadsky Crimean Federal University", Academy of Bioresources and Environmental Management. – Simferopol: Publishing House "Arial Printing House" LLC, 2016. P. 55-75.
8. **Borisova V.Yu., Baranova N.V.** Analysis of the territorial and temporal variation of the GTC in the conditions of the Crimean Peninsula // Viticulture and winemaking. 2019. Vol. 48. P. 13-15.
9. **Tentyukov M.P., Timushev D.A.** Assessment of weather stability of a promising potato hybrid for agricultural production in the conditions of the middle taiga zone of the northeastern Non-Chernozem region of Russia // Prirodoobustrojstvo. 2019. No. 3. P. 48-53. – DOI: 10.34677/1997-6011/2019-3-48-53.
10. **Shashko D.I.** Agro-climatic zoning of the USSR. M.: Kolos, 1967. 335 с.
11. **Cheremisinov A.Yu.** Determination of the need for hydro-reclamation based on the assessment of atmospheric humidification / A.Yu. Cheremisinov,

// Вестник ВГУ. Серия «География. Геоэкология». 2012. № 2. С. 70-75.

12. **Рылов Г.П.** Груша в Белорусии. Минск: Урад-жай, 1991. 237 с.

13. **Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В.** Влияние капельного орошения на рост и развитие саженцев сливы в питомнике в условиях Центрального Нечерноземья России // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 4. С. 6-11.

Об авторах

Николай Николаевич Дубенок, академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций: WOSResearchID: AAC-7746-2020; Scopus AuthorID: 57200111134; RINTS ID: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

Гемонов Александр Владимирович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства; WOSResearchID: AAX-9891-2020, Scopus AuthorID: 57214907823; РИНЦ ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Лебедев Александр Вячеславович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры землеустройства и лесоводства; WOS ResearchID: AAX-9891-2020 Scopus AuthorID: 57214907823 РИНЦ ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев 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 the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 05.03.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 05.03.2024

A.A. Cheremisinov, V.D. Krasov // Vestnik VSU. Series: Geography. Geoecology. 2012. No. 2. P. 70-75.

12. **Rylov G.P.** Pear in Belarus. Minsk: Governmentzhai, 1991. 237 p. ISBN5-7860-0526-7

13. **Dubenok N.N.** The effect of drip irrigation on the growth and development of plum seedlings in a nursery in the conditions of the Central Non-Chernozem region of Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Melioration and water management. 2020. No. 4. P. 6-11.

Author information

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. 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

Alexander V. Lebedev, CSc (Agro), associate professor of the department of land management and forestry, researcher; WOS ResearchID: AAX-9891-2020 Scopus AuthorID: 57214907823 РИНЦ ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev 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

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-41-47>

УДК 626/627:693.5:624.137.5:539.4



ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН

Ф.А. Пащенко^{1✉}, Н.С. Харьков¹, Н.В. Ханов², С.Н. Редников²

¹АО «Проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт воздушного транспорта «Ленаэропроект»; 198095, г. Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, 122, лит. Б, Россия

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; ул. Прянишникова, 19, Россия

Аннотация. В гидротехническом и транспортном строительстве находят широкое применение подпорные стены, возведенные из железобетона. Поскольку их тыловые грани закрыты грунтовой засыпкой, контролировать напряженное состояние тыловой рабочей арматуры затруднительно, что в ряде случаев привело к отклонениям в работе конструкций от проекта. В статье рассматриваются подпорные стены уголкового типа. Цель исследований – разработка и апробация инженерной методики определения напряженного состояния в горизонтальных сечениях подпорных стен, выполненных из железобетона. В рамках работы проводились исследования конструкций подпорных стен из железобетона, которые взаимодействуют с грунтами основания и обратной засыпки. При этом с использованием положений строительной механики и теории железобетона была разработана инженерная методика, позволяющая рассчитывать напряженное состояние подпорных стен из железобетона по горизонтальным сечениям. Для апробации предложенной методики расчета были использованы натурные данные инструментальных обследований эксплуатируемых низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС (гидроаккумулирующая электростанция) на основе метода разгрузки арматуры применительно к лицевой конструктивной арматуре стен. Разработанная методика была практически реализована для оценки действующих растягивающих напряжений в тыловой рабочей арматуре, а также сжимающих напряжений в бетоне подпорных стен.

Ключевые слова: подпорные стены, инженерная методика, напряженное состояние, лицевая арматура, тыловая арматура, сжатая зона, метод разгрузки арматуры

Формат цитирования: Пащенко Ф.А., Харьков Н.С., Ханов Н.В., Редников С.Н. Практическая реализация инженерной методики определения напряженного состояния в горизонтальных сечениях железобетонных подпорных стен // Природообустройство. 2024. № 2. С. 41-47. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-41-47>

Original article

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE ENGINEERING METHOD FOR DETERMINING THE STRESS STATE IN HORIZONTAL SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE RETAINING WALLS

F.A. Pashchenko¹, N.S. Kharkov¹, N.V. Khanov², S.N. Rednikov²

¹AO "Design, Survey and Research Institute of Air Transport "Lenaeroproekt"; 198095, St. Petersburg, nab. Bypass canal, 122, lit. B, Russia

²Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434; A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; 19, Pryanishnikova str., Russia

Abstract. Retaining walls made of reinforced concrete are widely used in hydraulic engineering and transport construction. Since their rear faces are covered with ground filling, it seems difficult to control the stressed state of the rear working fittings, which in some cases led to deviations

in the work of structures from the project. In this article, corner type retaining walls are considered. The purpose of the work was to develop and test an engineering technique for determining the stress state in horizontal sections of retaining walls made of reinforced concrete. In the framework of this work, studies were conducted on the structures of reinforced concrete retaining walls that interact with the soils of the base and backfill. At the same time, using the provisions of structural mechanics and the theory of reinforced concrete, an engineering technique was developed that allows calculating the stress state of reinforced concrete retaining walls along horizontal sections. To test the proposed calculation methodology, the in-situ data of instrumental surveys of the operated lower retaining walls of the PSPP water intake (pumped storage power plant) were used on the basis of the “reinforcement unloading” method in relation to the facing structural reinforcement of the walls. The developed method was practically implemented to assess the effective tensile stresses in the rear working reinforcement, as well as the compressive stresses in the concrete of retaining walls.

Keywords: retaining walls, engineering methodology, stress state, facing reinforcement, rear reinforcement, compressed zone, “reinforcement unloading” method

Format of citation: Pashchenko F.A., Kharkov N.S., Khanov N.V., Rednikov S.N. Practical implementation of engineering methods for determining the stress state in horizontal sections of reinforced concrete retaining walls // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 2. P. 41-47. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-41-47>

Введение. В гидротехническом, а также в транспортном строительстве (например, при строительстве насыпных грунтовых сооружений аэропортов) широко применяются подпорные стены, в том числе уголкового типа [1-7]. При этом в нормативных документах о расчетах подпорных стен (СП 101.13330.2023) отсутствуют положения, связанные с определением армирования; имеется ссылка на нормы по расчетам железобетонных конструкций гидросооружений (СП 41.13330.2012). Отсюда подавляющий объем исследований подпорных стен связан с определением нагрузок на тыловую грань стен и др., но не связан с совершенствованием методик их армирования.

В ходе эксплуатации в тыловой рабочей арматуре подпорных стен из железобетона могут возникать значительные по величине растягивающие напряжения. Поскольку доступ к тыловой арматуре затруднителен ввиду наличия обратной грунтовой засыпки, не представляется возможным контролировать состояние тыловой арматуры.

Как показывает опыт эксплуатации подпорных стен уголкового типа, неконтролируемое напряженное состояние (в том числе в тыловой рабочей арматуре) может привести к отклонениям от проектных предпосылок и даже к разрушению указанных конструкций [8-14].

На основе положений Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 177-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [15] требуется обеспечение соответствующего уровня безопасности подпорных сооружений.

Существующие методики расчета подпорных стен, в том числе положения нормативных

документов, не учитывают всех характерных особенностей, отмечаемых в работе подпорных стен из железобетона [16-18]. При этом в ряде случаев имеется возможность получить натурные данные о величинах напряжений в конструктивной арматуре лицевой грани подпорных стен (например, на основе метода разгрузки арматуры).

Возникла необходимость в разработке методики расчета напряжений в арматуре и бетоне подпорных стен из железобетона по горизонтальным сечениям.

Цель исследований: разработка и апробация инженерной методики определения напряженного состояния в горизонтальных сечениях подпорных стен, выполненных из железобетона.

Материалы и методы исследований. Подпорные стены, выполненные из железобетона, взаимодействуют с окружающим грунтом основания и обратной засыпки. Нагрузка от грунта засыпки на тыловую грань подпорных стен определялась с использованием зависимостей механики грунтов [19-25].

В процессе разработки инженерной методики, позволяющей определить напряжения в арматуре и бетоне подпорных стен из железобетона по горизонтальным сечениям, использовались зависимости строительной механики и теории железобетона.

Практическое использование предложенной методики расчета выполнялось с учетом натурных данных инструментальных обследований эксплуатируемых низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС на основе метода разгрузки арматуры, касающихся лицевой конструктивной арматуры этих стен.

Для реализации метода разгрузки арматуры производилось оголение исследуемых арматурных стержней путем вырубки штраб в бетоне лицевой грани. Далее на оголенные участки арматуры устанавливались деформометры, снимались «нулевые» отсчеты. Арматурные стержни разрезались, и после этого снимались отсчеты по деформометрам. На основании разницы показаний деформометров до разрезки арматурных стержней и после разрезки определялись относительные деформации арматуры. С использованием закона Гука вычислялись величины напряжений в арматурных стержнях, которые действовали до проведения разгрузки арматуры.

У лицевой грани стен установлена арматура класса А-III, у тыловой грани стен установлена арматура классов А-II и А-III. Если при разработке штраб в бетоне лицевой грани для оголения арматурных стержней в рамках последующего определения напряжений методом разгрузки арматуры имелся доступ к арматурным стержням (и был определен класс арматуры), то доступ к арматурным стержням, установленным у тыловой грани, отсутствовал.

Результаты и их обсуждение. Для определения напряжений в арматуре и бетоне подпорных стен из железобетона по горизонтальным сечениям предлагается инженерная методика расчета [26].

На основе указанной методики представляется возможным рассчитать величину напряжений в тыловой растянутой арматуре и в сжатом бетоне стены, используя данные о сжимающих напряжениях в лицевой конструктивной арматуре, полученные методом разгрузки арматуры в ходе инструментального обследования подпорных стен.

На рисунке 1 представлена расчетная схема горизонтального сечения подпорной стены, выполненной из железобетона.

На основе расчетной схемы (рис. 1) были составлены условия равновесия вертикальных сил в расчетном горизонтальном сечении.

Условие равновесия вертикальных сил:

$$N_b + N'_s + Nw = N + N_s, \quad (1)$$

где N – внешнее сжимающее усилие; N_b – усилие сжатия бетона; N'_s – усилие сжатия лицевой конструктивной арматуры; N_s – усилие растяжения тыловой рабочей арматуры; Nw – усилие растяжения, вызванное действием противодавления воды p_w в горизонтальной трещине.

Следует отметить, что распределение сжимающих напряжений σ_b в бетоне принималось по треугольному закону, что характерно для массивной гидротехнической конструкции.

Уравнение равновесия изгибающих моментов от усилий, показанных на рисунке 1, принимает вид:

$$N(e_0 - 0,5h + 0,33x) + \frac{Nw(3h + 5x)}{12} = N_s(h_0 - 0,33x) + N'_s(0,33x - a), \quad (2)$$

где h – размер высоты сечения; h_0 – размер рабочей высоты сечения; e_0 – эксцентриситет приложения действующей силы N ; x – размер высоты сжатой зоны; a' и a – величина защитного слоя бетона для лицевой и тыловой арматуры.

На основе применения гипотезы плоских сечений были определены соотношения относительных деформаций сжатого бетона ε_b , а также растянутой (ε_s) и сжатой (ε'_s) арматуры:

$$\begin{aligned} \varepsilon_b(h_0 - x) &= \varepsilon_s x; \\ \varepsilon_s(x - a) &= \varepsilon'_s(h_0 - x). \end{aligned} \quad (3)$$

С использованием соотношений (3) были получены расчетные зависимости для сжимающих напряжений σ_b в бетоне, растягивающих и сжимающих напряжений в арматуре (σ_s и σ'_s):

$$\sigma_b = \varepsilon_b \cdot E_b; \quad \sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s; \quad \sigma'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s. \quad (4)$$

На рисунке 2 представлены эпюры деформаций (а) и напряжений (б) материалов конструкции по горизонтальному сечению.

Таким образом, были получены расчетные зависимости, связывающие деформации и напряжения в бетоне и арматуре подпорной стены:

$$\varepsilon_b = \left(\frac{x}{h_0 - x} \right) \varepsilon_s; \quad (5)$$

$$\varepsilon_s = \frac{(x - a)}{(h_0 - x)} \varepsilon'_s; \quad (6)$$

$$\sigma_b = \left(\frac{x}{h_0 - x} \right) \sigma'_s \frac{E_b}{E_s}; \quad (7)$$

$$\sigma_s = \frac{(x - a)}{(h_0 - x)} \sigma'_s. \quad (8)$$

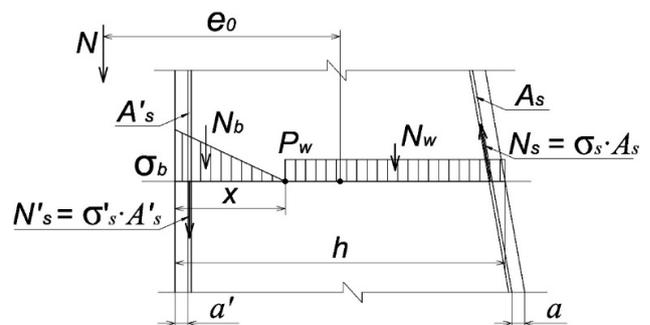


Рис. 1. Схема действия усилий в горизонтальном сечении подпорной стены

Fig. 1. Diagram of the action of forces in the horizontal section of the retaining wall

Растягивающие напряжения в арматуре тыловой грани σ_s определяются по формуле:

$$\sigma_s = \frac{N(h_0 - x)}{D},$$

где

$$D = \left[0,5bx^2 \left(\frac{E_b}{E_s} \right) + A_s(x - a) - A_s(h_0 - x) \right]. \quad (9)$$

С учетом противодействия воды p_w в трещине (шве)

$$\sigma_s = \frac{N(h_0 - x)}{D} + \frac{p_w(h - x)b}{A_s}. \quad (10)$$

Растягивающие напряжения в арматуре тыловой грани σ_s (без учета конструктивной арматуры, установленной у лицевой грани) определяются по формуле:

$$\sigma_s = \frac{N}{\left[0,5 \left(\frac{x}{h_0 - x} \right) \frac{E_b}{E_s} \right] xb - A_s}. \quad (11)$$

С учетом противодействия воды в трещине (шве)

$$\sigma_s = \frac{N}{\left[0,5 \left(\frac{x}{h_0 - x} \right) \frac{E_b}{E_s} \right] xb - A_s} + \frac{p_w(h - x)b}{A_s}. \quad (12)$$

Напряжения σ_b и σ'_s вычисляются в соответствии с (7) и (8).

Таким образом, была разработана инженерная методика, которая позволяет рассчитать величины напряжений в бетоне, а также в лицевой и в тыловой арматуре подпорной стены [26, 27]. Разработанная инженерная методика была применена при определении компонентов напряженного состояния горизонтальных сечений эксплуатируемых низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС. Были использованы также натурные данные, касающиеся физико-механических характеристик бетона данных подпорных стен (табл. 1).

Результаты произведенных расчетов величин напряжений в арматуре и бетоне низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС сведены в таблицу 2.

Произведенные в рамках предлагаемой методики расчеты показали, что растягивающие напряжения в тыловой арматуре подпорной стены (291,7 МПа) вплотную приблизились к значению предела текучести, равного 300 МПа для арматуры класса А-III.

Возникает необходимость регулярного контроля величин напряжений в низовых подпорных стенах водоприемника ГАЭС. Может потребоваться усиление данных подпорных стен при дальнейшем росте напряжений в рабочей тыловой арматуре.

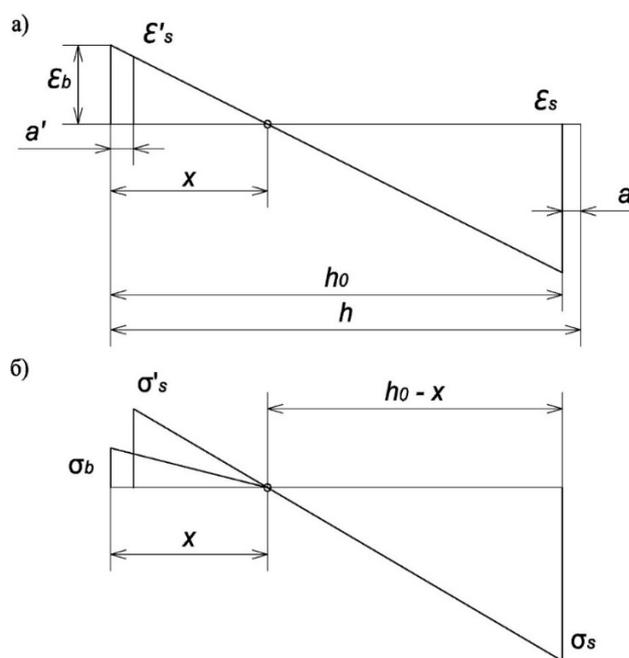


Рис. 2. Эпюры деформаций (а) и напряжений (б) материалов по горизонтальному сечению конструкции
Fig. 2. Diagrams of deformations (a) and stresses (b) of materials along the horizontal cross-section of the structure

Таблица 1. Физико-механические характеристики бетона низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС

Table 1. Physical and mechanical characteristics of the concrete of the lower retaining walls of the PSPP water intake

Номера контрольных точек в стенах <i>Checkpoint numbers in walls</i>	Величина призмной прочности, Rb (МПа) <i>Prismatic strength value, Rb (MPa)</i>	Величина модуля упругости, Eb (МПа) <i>Elastic modulus value, Eb (MPa)</i>	Размер высоты сечения, H (м) <i>Cross-section height dimension, H (m)</i>	Размер рабочей высоты сечения, ho (м) <i>Dimension of the working height of the cross-section, ho (m)</i>
1	23,05	28030	3,61	3,46
2	28,2	30600	3,61	3,46
3	21,75	27380	3,18	3,03
4	23,55	28270	3,18	3,03
5	26,5	29650	2,68	2,53

Таблица 2. Расчетные значения напряжений в арматуре и бетоне низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС

Table 2. Design values of stresses in reinforcement and concrete of the lower retaining walls of the PSPP water intake

Номера контрольных точек <i>Checkpoint numbers in walls</i>	Напряжения σ_c , МПа в сжатой арматуре <i>Stresses σ_c, MPa in compressed reinforcement</i>	Напряжения σ_s , МПа в растянутой арматуре <i>Stresses σ_s, MPa in tension reinforcement</i>	Напряжения σ_b , МПа в сжатом бетоне <i>Stresses σ_b, MPa in compressed concrete</i>
1	-90,2	217,6	-14,6
2	-120,9	291,7	-21,3
3	-60,1	143,5	-9,7
4	-100,6	173,6	-19,1
5	-58,6	178,9	-11,6

Выводы

1. В целях определения напряженного состояния в горизонтальных сечениях подпорных стен, выполненных из железобетона, была предложена инженерная методика расчета.

2. Разработанная методика была практически использована при расчетах напряжений в арматуре и бетоне по горизонтальным сечениям низовых подпорных стен водоприемника ГАЭС с учетом данных инструментальных обследований лицевой арматуры методом разгрузки арматуры.

Список использованных источников

1. Волосухин В.А., Дыба В.П., Евтушенко С.И. Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений: учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2015. 96 с.
2. Волосухин В.А., Воропаев В.И., Яицкий Л.В. Расчет подпорных стен гидротехнических сооружений: учебное пособие. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. 108 с.
3. Серебрянников Н.И., Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС / Родионов В.Г., Кулешов А.П., Магрук В.И., Иванущенко В.С. М.: НИЦ ЭНАС, 2000. 355 с.
4. Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. М.: НИЦ ЭНАС, 2008. 352 с.
5. Barbour E., Wilson I.A. and Radcliffe J. A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets, Renewable Sustainable Energy Rev. 2016. Vol. 61. Pp. 421-432. DOI: 10.1016/j.rser.2016.04.019.
6. Antal B.A. Pumped storage hydropower: a technical review, Master's Report, Boulder: Univ. of Colorado, 2014. P. 84. DOI: 10.1002/9783527673872.ch29.
7. Tăczi I. Pumped Storage Hydroelectric Power Plants: Issues and Applications, Budapest, Hungary: Energy Regulators Regional Association, 2016. P. 11. DOI: 10.1051/e3sconf/201913901009.
8. Лисичкин С.Е. Расчетные исследования устойчивости и прочности подпорных стен первого яруса водоприемника Загорской ГАЭС / Рубин О.Д., Атабиев И.Ж., Мельникова Н.И. // Гидротехническое строительство. 2012. № 2. С. 44-48.
9. Vinay B., Chauhan V.B., Dasaka S.M., Vinil K., Gade V.K. Investigation of failure of a rigid retaining wall

3. Результаты произведенных расчетов показали, что растягивающие напряжения в тыловой арматуре подпорных стен, составившие 291,7 МПа, практически достигли значения предела текучести, равного 300 МПа, для арматуры класса А-II.

4. Возникает необходимость регулярного контроля величин напряжений в низовых подпорных стенах водоприемника ГАЭС. Может потребоваться усиление данных подпорных стен при дальнейшем росте напряжений в рабочей тыловой арматуре.

References

1. Volosukhin V.A., Dyba V.P., Yevtushenko S.I. Calculation and design of retaining walls of hydraulic structures. Tutorial. Moscow, ASV Publ., 2015. 96 p.
2. Volosukhin V.A., Voropaev V.I., Yaitskiy L.V. Calculation of retaining walls of hydrotechnical structures: textbook. Novocherkassk: YURSTU, 2005. 108 p. ISBN5-88998-494-2
3. Serebryannikov N.I. Pumped-storage power plants. Construction and operation of Zagorskaya PSPP / Rodionov V.G., Kuleshov A.P., Magruk V.I., Ivanushchenko V.S. Moscow: Izd. NC ENAS, 2000. 355 p.
4. Sinyugin V.Yu., Magruk V.I., Rodionov V.G. Pumped storage power plants in modern electric power industry. Moscow, NC ENAS Publ., 2008. 352 p.
5. Barbour E., Wilson I.A., and Radcliffe J., A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets, Renewable Sustainable Energy Rev., 2016, vol. 61, P. 421-432. DOI: 10.1016/j.rser.2016.04.019.
6. Antal B.A., Pumped storage hydropower: a technical review, Master's Report, Boulder: Univ. of Colorado, 2014, p. 84. DOI:10.1002/9783527673872.ch29.
7. Tăczi I., Pumped Storage Hydroelectric Power Plants: Issues and Applications, Budapest, Hungary: Energy Regulators Regional Association, 2016, p. 11. DOI: 10.1051/e3sconf/201913901009.
8. Lisichkin S.E. Calculation studies of stability and strength of retaining walls of the first tier of the water receiver of the Zagorsk pumped storage power plant] / Rubin O.D., Atabiev I.Zh., Melnikova N.I. // Hydro technical construction. 2012, no. 2, P. 44-48.
9. Vinay B. Chauhan, Dasaka Murty, Vinil K. Gade. Investigation of failure of a rigid retaining wall

with relief shelves. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Pp. 2492-2497. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-02.

10. **Abhishek S.V., Tarachand V., Satyanarayana Reddy C.N.V.** Case study of failure of retaining Wall at Dwarakanagar, Visakhapatham. 48th Indian Geotechnical Conference. Indian Institute of Technology (IIT). Roorkee, India. 2013. Pp. 1-4. December 22-24.

11. **Chauhan V.B., Dasaka S.M., Gade V.K.** Investigation of failure of a rigid retaining wall with relief shelves // Japanese Geotechnical Society Special Publication. 2016. Pp. 2492-2497. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-02.

12. **Sivakumar Babu G.L., Raghuvver Rao Pal-lepati.** Forensic analysis of failure of retaining wall. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Pp. 2514-2519. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-08.

13. **Lim A., Rahardjo P.P.** Lesson learned from retaining walls failures: a geotechnical disaster // Int. Conf. on disaster management. 2018 (ICDM 2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822903014>.

14. **Do T.N., Ou C.Y. and Chen R.P.** A study of failure mechanisms of deep excavation in soft clay using the finite element method, Computer and Geotechnics, 73:153-163, 2016. DOI: 10.1016/j.compgeo.2015.12.009.

15. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 177-ФЗ (ред. от 1 января 2022 г.) // Собрание законодательства РФ. 2021. № 24, ст. 4188.

16. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. Москва, 2012. 39 с.

17. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. Москва, 2012. 67 с.

18. СП 101.133320.2012. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87. М.: Минрегион России, 2012. 79 с.

19. **Chen J., Li Z., Liang R., Jiang G. and Wu W.** Verification Analysis of the Relationship Between Soil Pressure and Displacement of Retaining Structure // Journal of Physics: Conference Series, 2152 (2020), 012014. Pp. 1-10. DOI: 10.1088/1742-6596/2152/1/012014.

20. **Khosravi H.M., Pipatpongsa T., Takemura J.** Experimental analysis of earth pressure against rigid retaining walls under translation mode. Geotechnique. 2013. № 63 (12). Pp. 1020-1028. DOI: 10.1680/GEOT.12.P.021.

21. **Mazni D.I., Hakam A., Tanjung J. and Ismail F.A.** Stability analysis of concrete block retaining wall based on a scaled laboratory. E3S Web of Conferences, 331, 05013 (2021). Pp. 1-4. DOI: 10.1051/e3sconf/202133105013.

22. **Sari U.C., Sholeh M.N., Hermanto I.** The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope., J. Phys. Conf. Ser., 1444, 1 (2020). DOI: 10.1088/1742-6596/1444/1/012053.

23. **Mazni D.I.** An alternative model of retaining walls on the sandy area to prevent landslides, E3S Web of Conferences, 156 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202015602016.

24. **Nimbalkar S., Pain A., Ahmad S.M. and Chen Q.** Stability Assessment of Earth Retaining Structures under Static and Seismic Conditions, Infrastructures. 2019. № 4. P. 15. DOI:10.3390/infrastructures402001.

with relief shelves. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. P. 2492-2497. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-02.

10. **Abhishek S.V., Tarachand V., Satyanarayana Reddy C.N.V.** Case study of failure of retaining Wall at Dwarakanagar, Visakhapatham / 48th Indian Geotechnical Conference. Indian Institute of Technology (IIT), December 22-24, 2013. Roorkee, India. pp. 1-4. ISBN: 978-81-925548-1-5, Paper No. 286

11. **Chauhan V.B., Dasaka S.M., Gade V.K.** Investigation of failure of a rigid retaining wall with relief shelves // Japanese Geotechnical Society Special Publication. 2016. Pp. 2492-2497. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-02.

12. **G.L. Sivakumar Babu, Raghuvver Rao Pal-lepati.** Forensic analysis of failure of retaining wall. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (2016). Pp. 2514-2519. DOI: 10.3208/jgssp.TC302-08.

13. **A. Lim, P.P. Rahardjo,** "Lesson learned from retaining walls failures: a geotechnical disaster", Int. Conf. on disaster management, 2018 (ICDM 2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822903014>.

14. **T.N. Do, C.Y. Ou, and R.P. Chen,** "A study of failure mechanisms of deep excavation in soft clay using the finite element method", Computer and Geotechnics, 73:153-163, 2016. DOI: 10.1016/j.compgeo.2015.12.009.

15. Federal Law of 21.07.1997 No. 177-FZ (as amended on 01.01.2022) "On the safety of hydro technical structures" // Code of Laws of the Russian Federation. 2021. № 24. Art. 4188.

16. SP 58.13330.2012 "Hydraulic structures. Basic provisions" Updated edition of SNiP 33-01-2003. Moscow, 2012. 39 p.

17. SP 41.13330.2012 "Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures". Updated edition of SNiP 2.06.08-87, Moscow, 2012. 67 p.

18. SP 101.133320.2012 "Retaining walls, navigable locks, fish passage and fish protection structures". Updated edition of SNiP 2.06.07-87. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012. 79 p.

19. **J. Chen, Z. Li, R. Liang, G. Jiang, and W. Wu,** "Verification Analysis of the Relationship Between Soil Pressure and Displacement of Retaining Structure", Journal of Physics: Conference Series, 2152 (2020), 012014, pp. 1-10. DOI:10.1088/1742-6596/2152/1/012014

20. **Khosravi H.M., Pipatpongsa T., Takemura J.,** "Experimental analysis of earth pressure against rigid retaining walls under translation mode. Geotechnique, 2013, 63(12), P. 1020-1028. DOI: 10.1680/GEOT.12.P.021

21. **D.I. Mazni, A. Hakam, J. Tanjung, and F.A. Ismail.** "Stability analysis of concrete block retaining wall based on a scaled laboratory", E3S Web of Conferences, 331, 05013 (2021), P. 1-4. DOI: 10.1051/e3sconf/202133105013.

22. **U.C. Sari, M.N. Sholeh, I. Hermanto,** "The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope", J. Phys. Conf. Ser., 1444, 1 (2020). DOI: 10.1088/1742-6596/1444/1/012053.

23. **D.I. Mazni.** "An alternative model of retaining walls on the sandy area to prevent landslides, E3S Web of Conferences, 156 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202015602016.

24. **S. Nimbalkar, A. Pain, S.M. Ahmad, and Q. Chen.** "Stability Assessment of Earth Retaining Structures under Static and Seismic Conditions",

25. Li J., Wang M. Simplified method for calculating active earth pressure on rigid retaining walls considering the arching effect under translational mode // Int. J. Geotech. 2014. № 14. Pp. 282-290. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000313.

26. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пашченко Ф.А. Разработка методики расчета напряженного состояния в горизонтальных сечениях гидротехнических подпорных стен уголкового типа // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15, № 5. С. 339-344.

27. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashchenko F.A. Results of experimental researches of reinforced concrete retaining walls // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2020. December. № 16 (2). Pp. 152-160. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-2-152-160.

Об авторах

Федор Александрович Пашченко, канд. техн. наук, генеральный директор, lenair@lenair.ru

Никита Сергеевич Харьков, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по науке; kharkov_ns@lenair.ru

Нартмир Владимирович Ханов, д-р техн. наук, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений. eLIBRARY SPIN-код: 4314-8184; khanov@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Редников, д-р техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами. eLIBRARY SPIN-код: 6267-71900; rednikov@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Пашченко Ф.А., Харьков Н.С., Ханов Н.В., Редников С.Н. 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 / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interest / 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 09.01.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 13.03.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 13.03.2024

Infrastructures, 2019, 4, p. 15. DOI:10.3390/infrastructures402001.

25. J. Li, M. Wang, "Simplified method for calculating active earth pressure on rigid retaining walls considering the arching effect under translational mode", Int. J. Geotech. 2014, 14, P. 282-290. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000313.

26. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashchenko F.A. Development of methods for calculating the stress state in horizontal sections of hydro technical retaining walls of the angle type]. 2019. V. 15. № 5. P. 339-344.

27. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashchenko F.A. "Results of experimental researches of reinforced concrete retaining walls" / Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, December 2020, 16(2), pp. 152-160 DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-2-152-160.

Author information

Fedor A. Pashchenko, CSc (Eng), General director lenair@lenair.ru

Nikita S. Kharkov, CSc (Eng), Deputy general director kharkov_ns@lenair.ru

Nartmir V. Khanov, DSc (Eng), Head of the department of hydraulic structures.

Sergey N. Rednikov, DSc (Eng), assistant professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources. eLIBRARY SPIN-код: 6267-71900; rednikov@rgau-msha.ru

Pashchenko F.A., Kharkov N.S., Khanov N.V., Rednikov S.N. performed practical and 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/10.26897/1997-6011-2024-2-48-56>

УДК 627.8:626/627:693.5



АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ЕЕ СОСТОЯНИЯ

Е.Н. Беллендир^{1✉}, О.Д. Рубин^{1,3}, С.В. Юрьев^{1✉}, С.Е. Лисичкин², И.В. Баклыков²

¹АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт Гидропроект им. С.Я. Жука»; 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 2, Россия

²Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт Гидропроект им. С.Я. Жука» – «НИИ энергетических сооружений»; 125362, г. Москва, Строительный проезд, 7А, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Аннотация. Представлены результаты комплексных натуральных и расчетных исследований прочности и устойчивости каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС. Цель работы – комплексная оценка состояния каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС, в том числе с прогнозированием ее состояния. Выполнен анализ данных натуральных наблюдений, который показал ряд отличий от проектных предпосылок. Анализ данных по осадкам и горизонтальным смещениям марок, установленных на бермах низовой упорной призмы каменно-набросной плотины (КНП) Богучанской ГЭС, показал, что они носят незатухающий характер. На основе разработанной и откалиброванной пространственной, постоянно действующей конечно-элементной модели проведены комплексные расчетные исследования напряженно-деформированного состояния каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС (включая створы, в которых зафиксированы наибольшие осадки и горизонтальные смещения марок, установленных на бермах низовой упорной призмы каменно-набросной плотины) с учетом данных натуральных наблюдений, в том числе отклонений от проекта. Расчеты показали, что при фактическом профиле каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС, несколько меньшем, чем по проекту, значение коэффициента запаса устойчивости низового откоса составило 1,32-1,33. Это превышает нормативное значение, равное 1,25. На этапе прогнозирования состояния каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС на период до 2040 г. расчетное значение коэффициента запаса устойчивости низового откоса может составить 1,25, что равняется нормативному значению (то есть запас минимальный). В настоящее время устойчивость низового откоса каменно-набросной плотины обеспечивается несмотря на отклонения фактических размеров профиля каменно-набросной плотины от проектных величин. При дальнейшем росте осадок, а также горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы, может измениться устойчивость низового откоса каменно-набросной плотины.

Ключевые слова: прочность и устойчивость, расчетные исследования, ГЭС, каменно-набросная плотина, асфальтобетонная диафрагма, осадки и смещения марок, пространственная конечно-элементная модель

Формат цитирования: Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Юрьев С.В., Лисичкин С.Е., Баклыков И.В. Анализ результатов натуральных и расчетных исследований прочности и устойчивости каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС с прогнозированием ее состояния // Природообустройство. 2024. № 2. С. 48-56. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-48-56>

Original article

ANALYSIS OF THE RESULTS OF FIELD AND COMPUTATIONAL STUDIES OF THE STRENGTH AND STABILITY OF THE STONE-FILL DAM OF THE BOGUCHANSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION, PREDICTING ITS CONDITION

E.N. Bellendir, O.D. Rubin, S.V. Yurjev✉, S.E. Lisichkin, I.V. Baklykov

¹ JSC “Design, survey and research Institute Hydroproject named after S.Y. Zhuk”, 125080, 2, Volokolamskoye shosse, Moscow, Russia

² Branch of JSC “Design, survey and research Institute Hydroproject named after S.Y. Zhuk” – “Research institute of energy structures”, 125080, 2, Volokolamskoye shosse, Moscow, Russia

³ National research Moscow state university of civil engineering, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337. Russia

Abstract. The results of complex field and computational studies of the strength and stability of the stone-fill dam of the Boguchanskaya HPP are presented. The purpose of the work is a comprehensive assessment of the state of the stone-fill dam of the Boguchanskaya HPP, including

forecasting its condition. An analysis of the data of field observations was carried out, which showed a number of differences from the design prerequisites. Analysis of the data on precipitation and horizontal displacements of the marks installed on the berms of the lower thrust prism of the SFD of the Boguchanskaya HPP showed that they are not extinguished. On the basis of the developed and calibrated spatial permanent finite element model, comprehensive computational studies of the stress-strain state of the stone-fill dam of the Boguchanskaya HPP were carried out (including the sections in which the highest precipitation and horizontal displacements of the marks installed on the berms of the lower thrust prism of the stone-fill dam were recorded), taking into account the data of field observations, including deviations from the project. Calculations showed that with the actual profile of the stone-fill dam of the Boguchanskaya HPP, slightly less than in the project, the value of the stability factor of the lower slope was 1.32-1.33, which exceeds the standard value of 1.25. At the stage of forecasting the state of the stone-fill dam of the Boguchanskaya HPP for the period up to 2040, the estimated value of the stability factor of the lower slope may be 1.25, which is equal to standard value (i.e. the margin is minimal). At present, the stability of the lower slope of the stone-fill dam is ensured, despite the deviations of the actual dimensions of the profile of the stone-fill dam from the design values. With further growth of sediment, as well as horizontal displacements of marks installed on the berms of the lower thrust prism, the stability of the lower slope of the stone-fill dam may change.

Keywords: strength and stability, computational studies, hydraulic structures, stone-fill dam, asphalt concrete diaphragm, precipitation and displacement of marks, spatial finite element model

Format of citation: Bellendir E.N., Rubin O.D., Yurjev S.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V. Analysis of the results of field and computational studies of the strength and stability of the stone-fill dam of the Boguchanskaya hydroelectric power station, predicting its condition // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 48-56. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-48-56>

Введение. Напорный фронт Богучанской ГЭС общей длиной 2618 м в левобережной части создает бетонная гравитационная плотина длиной 757 м, а в центральной и правобережной частях – каменно-набросная плотина (КНП) длиной 1861 м [1, 2].

Каменно-набросная плотина располагается на скальном массиве, который в правой части (на длине 926 м) сложен осадочными породами Кембрия и Ордовика раннепалеозойского возраста, а в левой части (в зоне примыкания к бетонной плотине) на протяжении 748 м – долеритами. На поверхности массива скальных пород залегают аллювиальные отложения мощностью до 2,0 м.

Основные параметры конструкции КНП:

- максимальный напор – 72,50 м;
- наибольшая строительная высота – 77,00 м;
- длина по гребню – 1861,00 м;
- ширина по гребню – 20,00 м;
- ширина по подошве – 440,00 м.

В состав каменно-набросной плотины входит асфальтобетонная диафрагма (АБД), выполняемая по специальной технологии из литой гидротехнической асфальтобетонной смеси, укладываемой в разогретом состоянии, и эксплуатируемая в суровых климатических условиях [2]. Вертикальная противотрационная асфальтобетонная диафрагма расположена по оси КНП. Ширина асфальтобетонной диафрагмы

по основанию составляет 3,9 м. Выше диафрагма имеет ступенчато-переменное сечение, изменяясь по ширине от 3,9 до 0,80 м.

Важнейшую особенность КНП представляют фактические размеры ее поперечных профилей, несколько отличающиеся от проектных значений (меньше проектных).

Данные натурных наблюдений, зафиксированные в 2022 г., показали, что отмечается рост осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы каменно-набросной плотины, обусловленных продолжающимся уплотнением каменной наброски низовой упорной призмы.

Цель исследований: комплексная оценка состояния каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС, в том числе с прогнозированием ее состояния.

Материалы и методы исследований. Особенности состояния КНП, зафиксированные методом регулярно проводимых натурных наблюдений, были использованы при оценке состояния КНП и проведении расчетных исследований НДС на основе численного моделирования.

Максимальные осадки марки, установленной на берме низовой упорной призмы КНП, составляющие 832 мм, зафиксированы в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины (рис. 1). Рост осадок марок продолжается.

На рисунке 2 представлены графики горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины. Рост горизонтальных смещений марок продолжается.

Из данных рисунка 2 следует, что в процессе наполнения водохранилища горизонтальные смещения марок, установленных на берме низовой упорной призмы, имели знакопеременный характер. Так, на начальной стадии отмечалось смещение в сторону верхнего бьефа (при наполнении водохранилища до пускового уровня), а дальнейший подъем уровня верхнего бьефа до НПУ привел к смене направления смещения марок в сторону нижнего бьефа, и в настоящее время указанные смещения имеют незатухающий характер.

Для выполнения расчетных исследований НДС была разработана пространственная, постоянно действующая конечно-элементная модель каменно-набросной плотины с основанием, включающая в себя узлы сопряжения ее с бетонной плотиной и с правым берегом (рис. 3).

В рамках моделирования грунтов тела плотины использовалась теория Кулона-Мора, а также модель упрочняющегося грунта Hardening Soil. При этом был учтен отечественный и зарубежный опыт моделирования бетонных и грунтовых гидротехнических сооружений с основаниями [3-12].

При проведении расчетных исследований учитывались поэтапное возведение КНП и наполнение водохранилища, а также моделировались этапы эксплуатации, включая этап фактического состояния КНП в настоящее время

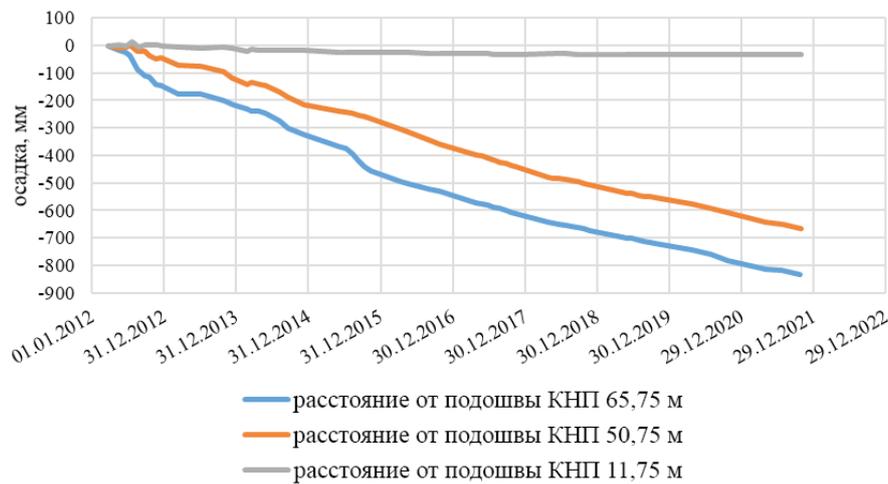


Рис. 1. Графики осадок марок, мм, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины

Fig. 1. Graphs of settlement of marks (mm) installed on the berms of the lower thrust prism of the SFD in the alignment located at a distance of 1174 m from the concrete dam

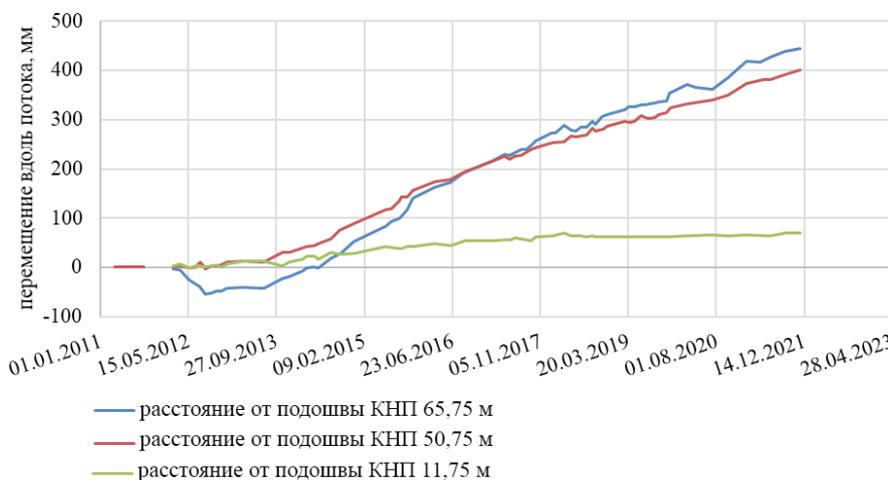


Рис. 2. Графики горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины

Fig. 2. Graphs of horizontal displacements of marks installed on the berms of the lower thrust prism of the SFD in the alignment located at a distance of 1174 m from the concrete dam

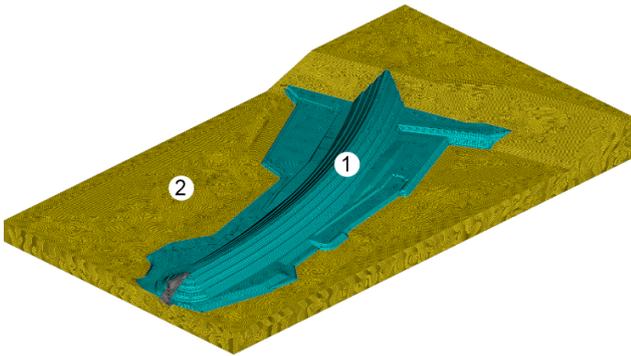


Рис. 3. Пространственная конечно-элементная модель КНП с основанием:

1 – КНП, 2 – основание

Fig. 3. Spatial finite element model of SFD with the foundation:

1 – KNP, 2 – base

и этапы прогнозного состояния КНП при прогнозируемых дальнейших осадках и горизонтальных смещениях марок, установленных на бермах низовой упорной призмы.

Максимальное гидростатическое давление на КНП на этапах эксплуатации принималось равным УВБ.

В целях оценки состояния участка КНП, примыкающего к бетонной плотине, с учетом прогнозирования осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на берме низовой упорной призмы, были выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния на основе пространственной конечно-элементной модели участка КНП, примыкающего к бетонной плотине.

Результаты и их обсуждение

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости в период эксплуатации в настоящее время. Поскольку АБД является противифльтрационным элементом КНП, большое значение уделялось ее напряженному состоянию и сплошности. Поэтому на расчетных этапах контролировались величины напряжений, возникающих в АБД, в том числе касательных напряжений.

Величина касательных напряжений в АБД составляет 0,38 МПа. В соответствии с паспортом трехосных испытаний АБД, выполненных в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», максимальные допустимые значения касательных напряжений составляют 0,45 МПа. Таким образом, полученные расчетом значения касательных напряжений (0,38 МПа) не превышают предельно допустимых значений (0,45 МПа), то есть имеется определенный запас прочности АБД (в пределах 18%).

Главным показателем состояния КНП является устойчивость откосов. При расчетном обосновании фактического профиля КНП, несколько отличающегося от проектного, выполнялись расчеты устойчивости верхового и низового откосов для круглоцилиндрических поверхностей скольжения. При этом расчетное значение коэффициента запаса устойчивости низового откоса при текущих осадках марки (832 мм), установленной на берме низовой упорной призмы КНП в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины, составляет $K_{зап} = 1,33$, что превышает нормативное значение коэффициента запаса устойчивости (1,25).

Расчетное значение коэффициента запаса устойчивости при текущих горизонтальных смещениях марок (784 мм), установленных на берме низовой упорной призмы КНП в створе, расположенном на удалении 1630 м от бетонной плотины, составляет $K_{зап} = 1,32$, что превышает нормативное значение коэффициента запаса устойчивости (1,25).

Для сравнения проектное значение коэффициента запаса устойчивости без учета фактического профиля КНП составляет $K_{зап} = 1,55$, то есть за счет уменьшения размеров поперечного профиля КНП произошло снижение запаса устойчивости на 14,8%.

Результаты расчетов устойчивости откосов на других участках КНП показали более высокие значения коэффициентов запаса устойчивости и также превышают нормативное значение коэффициента устойчивости (1,25).

Таким образом, в настоящее время устойчивость низового откоса КНП обеспечивается с учетом отклонений размеров поперечного профиля плотины от проектных предпосылок (меньше проектных).

Результаты расчетов для этапов эксплуатации КНП с прогнозированием ее состояния до 2040 г. при возможном дальнейшем росте осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы.

Расчетные исследования НДС при прогнозировании дальнейшего роста осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП (на период до 2040 г.), проводились на основе откалиброванной пространственной, постоянно действующей конечно-элементной модели, которая позволяет осуществлять прогнозирование состояния КНП с учетом наметившихся тенденций изменений контролируемых показателей, в том числе с учетом роста осадок и горизонтальных

смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП. При этом моделировались прогнозируемые дальнейшие осадки и горизонтальные смещения марок, установленных на бермах низовой упорной призмы (на период до 2040 г.).

На рисунке 4 представлены графики фактических, прогнозных и допустимых осадок марок, установленных на берме низовой упорной призмы (на период до 2040 г.).

Из данных рисунка 4 следует, что максимальное прогнозное значение осадки марки, установленной на берме низовой упорной призмы в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины, составляет 1270 мм. На рисунке 5 представлены графики фактических, прогнозных и допустимых горизонтальных смещений марок, установленных на берме низовой упорной призмы (на период до 2040 г.).

Из данных рисунка 5 следует, что максимальное прогнозное горизонтальное смещение марки, установленной на берме низовой упорной призмы в створе, расположенном на удалении 1630 м от бетонной плотины, составляет 1290 мм.

Было определено также прогнозируемое напряженное состояние АБД (на период до 2040 г.) включая распределение и величину касательных напряжений.

Максимальная прогнозируемая величина касательных напряжений в АБД может составить значение 0,47 МПа, которое является близким к предельно допустимому значению (0,45 МПа) и может повлиять на сплошность АБД и возможную фильтрацию воды в низовую упорную призму КНП.

Расчетное значение коэффициента запаса устойчивости низового откоса при прогнозных значениях осадок марок (1270 мм), установленных на бермах низовой упорной призмы, может составить $K_{\text{зап}} = 1,25$, что равно нормативному значению коэффициента запаса устойчивости (1,25).

Таким образом, на этапе прогнозного состояния КНП (на период до 2040 г.) при прогнозируемом дальнейшем росте осадок марок, установленных на бермах низовой упорной призмы, устойчивость низового откоса КНП обеспечивается с минимальным запасом.

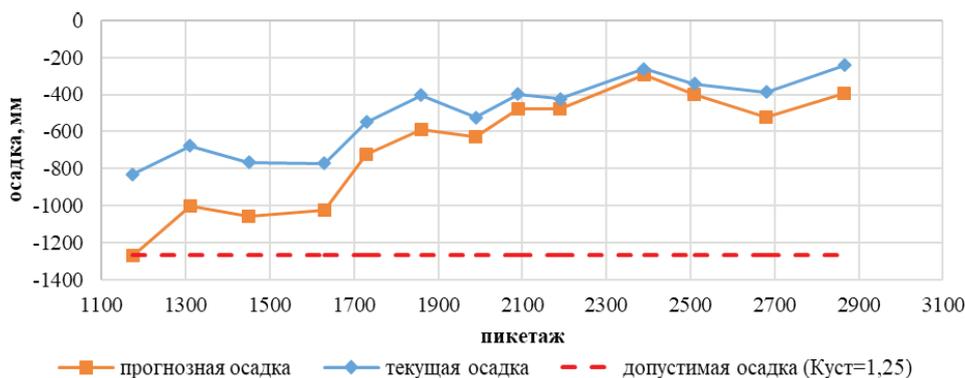


Рис. 4. Графики фактических, прогнозных и допустимых осадок марок, установленных на берме низовой упорной призмы (на период до 2040 г.)

Fig. 4. Graphs of actual, forecast and permissible sediments of marks installed on the berm of the lower thrust prism (for the period up to 2040)

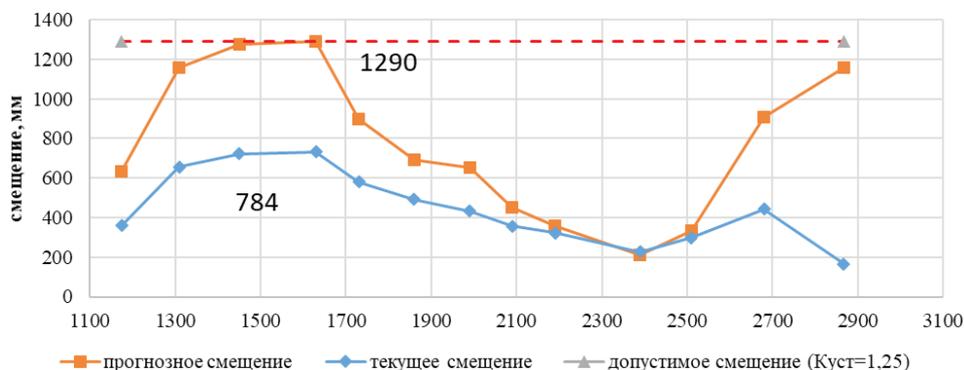


Рис. 5. Графики фактических, прогнозных и допустимых горизонтальных смещений марок, установленных на берме низовой упорной призмы (на период до 2040 г.)

Fig. 5. Graphs of actual, forecast and permissible horizontal displacements of marks installed on the berm of the lower thrust prism (for the period up to 2040)

Расчетное значение коэффициента запаса устойчивости низового откоса при прогнозных значениях горизонтальных смещений марок (1290 мм), установленных на бермах низовой упорной призмы, может составить $K_{\text{зап}} = 1,25$, что равно нормативному значению коэффициента запаса устойчивости (1,25).

Таким образом, на этапе прогнозного состояния КНП (на период до 2040 г.) при прогнозируемом дальнейшем росте горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы, устойчивость низового откоса КНП обеспечивается с минимальным запасом, то есть при дальнейшем росте осадок, а также горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы, может измениться устойчивость низового откоса КНП.

Результаты расчетов для этапов эксплуатации участка КНП, примыкающего

к бетонной плотине, с прогнозированием его состояния до 2050 г. при возможном дальнейшем росте осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы.

Было выполнено прогнозирование величин осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на берме низовой упорной призмы участка примыкания КНП к бетонной плотине, на период до 2050 г.

На рисунках 6-8 представлены графически прогнозные величины осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на берме низовой упорной призмы участка примыкания КНП к бетонной плотине, на период до 2050 г.

На основе пространственной конечно-элементной модели участка КНП, примыкающего к бетонной плотине, получены значения осадок и горизонтальных смещений марок,

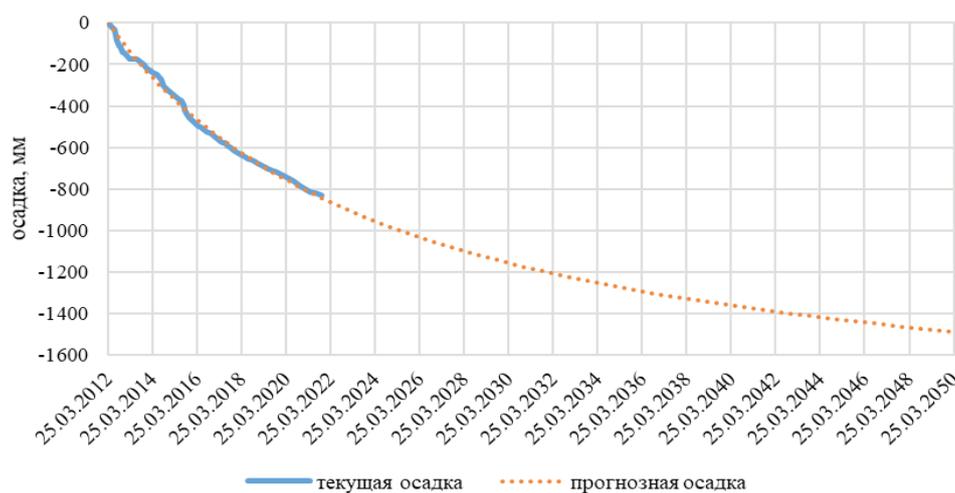


Рис. 6. График прогнозных осадок марок, установленных на берме низовой упорной призмы, на период до 2050 г.

Fig. 6. Graphs of forecast settlements of marks installed on the berm of the lower thrust prism, for the period up to 2050

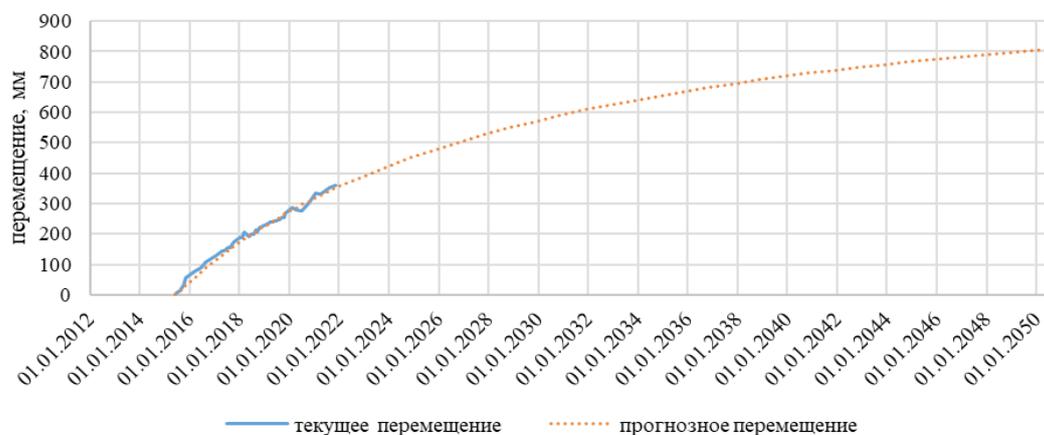


Рис. 7. График прогнозных горизонтальных смещений вдоль потока марок, установленных на берме низовой упорной призмы, на период до 2050 г.

Fig. 7. Graphs of forecast settlements of marks installed on the berm of the lower thrust prism, for the period up to 2050

установленных на бермах низовой упорной призмы участка КНП, примыкающего к бетонной плотине, при прогнозировании состояния КНП на период до 2050 г.

В таблице представлены результаты расчетов прогнозных осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы участка КНП, примыкающего к бетонной плотине.

Как следует из данных таблицы, по причине недоуплотненности грунтов тела КНП при их укладке, а также их последующей консолидации имеется тенденция дальнейшего увеличения осадок и горизонтальных смещений низовой упорной призмы КНП, однако расчеты

с учетом модели упрочняющегося грунта Hardening Soil показали затухание осадок и смещений к 2042 году.

С учетом прогнозируемых осадок и горизонтальных смещений марок (на период до 2050 г.), установленных на бермах низовой упорной призмы участка КНП, примыкающего к бетонной плотине, устойчивость низового откоса КНП может измениться.

Для безопасной эксплуатации КНП Богучанской ГЭС необходимо разработать проект и реализовать проектные решения по предотвращению дальнейшего роста осадок и горизонтальных смещений низовой упорной призмы в сторону нижнего бьефа.

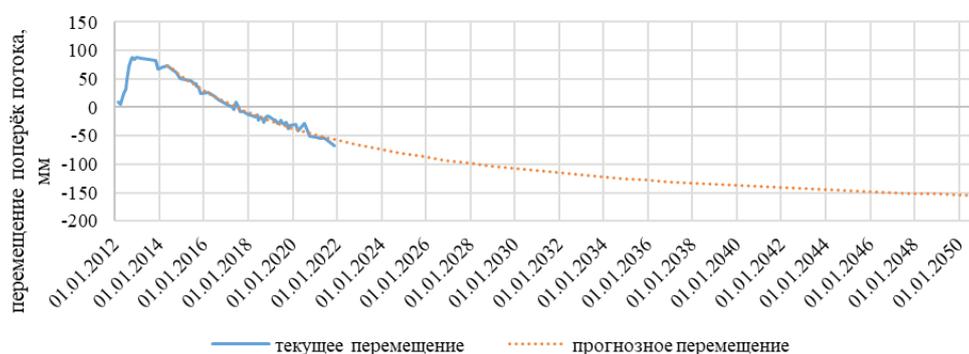


Рис. 8. График прогнозных горизонтальных смещений поперек потока марок, установленных на берме низовой упорной призмы, на период до 2050 г.

Fig. 8. Graph of forecast horizontal displacements along the flow of marks installed on the berm of the lower thrust prism, for the period up to 2050

Таблица. Результаты расчета прогнозных осадок и горизонтальных смещений марок на период до 2050 г.

Table. Results of calculation of forecast settlements and horizontal displacements of marks for the period up to 2050

Наименование <i>Name</i>	С учетом проектных параметров каменной наброски <i>Taking into account design parameters of the stone fill</i>	С учётом корректировки параметров каменной наброски на основе данных натурных наблюдений <i>Taking into account the correction of the parameters of the stone fill on the basis of field observations</i>
Горизонтальные смещения вдоль потока UX, мм <i>Horizontal displacements along the UX flow, mm</i>	485,6	776,9
Осадки UY, мм / <i>Settlements UY, mm</i>	1011,4	1517,1
Горизонтальные смещения поперёк потока UZ, мм <i>Horizontal displacements across the flow UZ, mm</i>	-50,7	-152,0

Выводы

1. К конструктивной особенности КНП Богучанской ГЭС следует отнести наличие вертикальной противофильтрационной асфальтобетонной диафрагмы (АБД), возведенной по специальной технологии (путем укладки литого гидротехнического асфальтобетона в разогретом состоянии) и эксплуатируемой в суровых климатических условиях.

2. Анализ особенностей КНП Богучанской ГЭС, влияющих на ее состояние, показал некоторое отличие фактических размеров поперечных профилей по протяженности КНП от проектных величин (фактические размеры меньше проектных). Показано, что устойчивость откосов КНП обеспечивается с учетом отклонений размеров поперечных профилей от проектных предпосылок при ми-

нимальном значении коэффициента запаса $K_{\text{зап}} = 1,32$.

3. Анализ данных по осадкам и горизонтальным смещениям марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП Богучанской ГЭС, показал, что они носят незатухающий характер и их максимальные значения составляют, соответственно, 832 мм (осадка) в створе, расположенном на удалении 1174 м от бетонной плотины, и 784 мм (горизонтальное смещение) в створе, расположенном на удалении 1630 м от бетонной плотины.

4. На основе разработанной и откалиброванной пространственной, постоянно действующей конечно-элементной модели, впервые были проведены комплексные расчетные исследования напряженно-деформированного состояния КНП Богучанской ГЭС (включая створы, в которых зафиксированы наибольшие осадки и горизонтальные смещения марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП).

5. Поскольку запасы устойчивости откосов являются главной характеристикой состояния КНП, определялись коэффициенты запаса устойчивости низового откоса при фактическом профиле КНП Богучанской ГЭС, несколько отличном от проектных предпосылок. На этапе состояния в настоящее время значение коэффициента запаса устойчивости низового откоса составляет $K_{\text{зап}} = 1,32-1,33$, что превышает нормативное значение коэффициента запаса устойчивости, равное 1,25. Таким образом, в настоящее время устойчивость низового откоса КНП обеспечивается несмотря на отклонения фактических размеров профиля КНП от проектных величин.

6. На этапе прогнозного состояния КНП Богучанской ГЭС на период до 2040 г. расчетное значение коэффициента запаса устойчивости

низового откоса может составить $K_{\text{зап}} = 1,25$, что равняется нормативному значению коэффициента запаса устойчивости (1,25). При дальнейшем росте осадок, а также горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы, может измениться устойчивость низового откоса КНП.

7. На этапе состояния КНП Богучанской ГЭС в настоящее время величина касательных напряжений в АБД составляет 0,38 МПа, что менее предельно допустимых значений, равных 0,45 МПа (определенных в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» путем трехосных испытаний).

8. На этапе прогнозного состояния КНП Богучанской ГЭС на период до 2040 г. касательные напряжения в АБД могут составить значение 0,47 МПа, которое является близким к предельно допустимому значению 0,45 МПа, что может повлиять на сплошность АБД и возможную фильтрацию воды в низовую упорную призму КНП.

9. Выполнено прогнозирование осадок и смещений марок, установленных на берме низовой упорной призмы участка КНП, примыкающего к бетонной плотине Богучанской ГЭС, на период до 2050 г., которое показало, что осадки и смещения в дальнейшем имеют тенденцию увеличения. С учетом прогнозируемых осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы участка КНП, примыкающего к бетонной плотине, устойчивость низового откоса КНП может измениться.

10. Для безопасной эксплуатации КНП Богучанской ГЭС необходимо разработать проект и реализовать проектные решения по предотвращению дальнейшего роста осадок и горизонтальных смещений низовой упорной призмы в сторону нижнего бьефа.

Список использованных источников

- СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. М.: 2012. 40 с.
- СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*. М.: 2012. 110 с.
- Зарецкий Ю.К., Ломбардо В.Н.** Статика и динамика грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат, 1983. 256 с.; ил.
- Волынчиков А.Н., Газиев Э.Г.** Поведение бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС в период наполнения водохранилища (2012-2015 гг.) // Гидротехническое строительство. 2015. № 12. С. 13-23.
- Волынчиков А.Н., Мгалобелов Ю.Б., Баклыков И.В.** Сопряжение бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2014. № 10. С. 2-9.

References

- SP 58.13330.2012. Hydraulic structures. General provisions. Updated edition of SNiP 33-01-2003. Moscow, 2012. 40 p.
- SP 39.13330.2012 "Dams made of soil materials" Updated edition of SNiP 2.06.05-84*, Moscow, 2012. 110 p.
- Zaretsky Yu.K., Lombardo V.N.** Statics and dynamics of ground dams. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 256 p. with ill.;
- Volynchikov A.N., Gaziev E.G.** Behavior of the concrete and stone-fill dams of the Boguchanskaya hydroelectric power station during the period of filling the reservoir (2012-2015)]. // Hydraulic engineering construction. 2015. No. 12. pp. 13-23.
- Volynchikov A.N., Mgalobelov Yu.B., Baklykov I.V.** Conjugation of concrete and stone-fill dams of the Boguchanskaya hydroelectric power station // Hydraulic engineering construction. 2014. No. 10. P. 2-9.

6. **Баклыков И.В.** Анализ поведения сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС в период наполнения // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2014. № 273. С. 84-95.

7. **Рубин О.Д.** Расчетное обоснование решений по обеспечению надежности конструкций водосброса № 2 бетонной плотины Богучанской ГЭС / Лисичкин С.Е., Гребенщиков В.П., Цыбаков В.А. и др. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2005. С. 227-233.

8. **Рубин О.Д.,** Особенности состояния бетонных сооружений Богучанской ГЭС / Вольтчиков А.Н., Воробьев А.Л., Гребенщиков В.П., Лисичкин С.Е. // Гидротехническое строительство. 2007. № 11. С. 26-30.

9. **Arash Ghafari.** Finite element analysis of deformation and arching inside the core of embankment dams during construction, Australian // Journal of Civil Engineering. 2015, 14(1), P. 13-22.

10. **López-Acosta N.P.** Geotechnical Engineering Applied on Earth and Rock-Fill Dams, Hydraulic Structures – Theory and Applications. 2019. Pp. 1-17.

11. **Chao Tong.** Research on Analyzing Earth Rockfill Dam Seepage and Slope Stability Advanced Materials Research. 2014. Vol. 889-890. Pp. 1379-1382.

12. **Zakariae Kahot.** Reliability analysis of slope stability in earthen dams following rapid drawdown // International Journal of Applied Sciences and Engineering. 2019. Pp. 1-12.

6. **Baklykov I.V.** Analysis of the behavior of the conjugation of concrete and stone-fill dams of the Boguchanskaya hydroelectric power station during the period of filling // Izvestiya VNIIG named after B.E. Vedeneev. 2014. № 273. P. 84-95.

7. **Rubin O.D.** Calculation justification of decisions to ensure the reliability of spillway structures No. 2 of the concrete dam of the Boguchanskaya HPP / Lisichkin S.E., Grebenshchikov V.P., Tsybakov V.A. et al. // Izvestiya VNIIG named after B.E. Vedeneev. vol. 244, St. Petersburg, 2005. P. 227-233.

8. **Rubin O.D.** Features of the state of concrete structures of the Boguchanskaya HPP / Volynchikov A.N., Vorobyov A.L., Grebenshchikov V.P., Lisichkin S.E. // Hydrotechnical construction. 2007. No. 11. P. 26-30.

9. Arash Ghafari. Finite element analysis of deformation and arching inside the core of embankment dams during construction, Australian Journal of Civil Engineering, 2015, 14(1), P. 13-22.

10. **López-Acosta N.P.** Geotechnical Engineering Applied on Earth and Stone-Fill Dams, Hydraulic Structures – Theory and Applications, 2019. P. 1-17.

11. Chao Tong – Research on Analyzing Earth Stonefill Dam Seepage and Slope Stability Advanced Materials Research Vols. 889-890, 2014. P. 1379-1382.

12. Zakariae Kahot. Reliability analysis of slope stability in earthen dams following rapid drawdown, International Journal of Applied Sciences and Engineering, 2019. P. 1-12.

Об авторах

Евгений Николаевич Беллендир, д-р техн. наук, генеральный директор АО «Институт Гидропроект»; SPIN-код: 7975-2841, AuthorID: 272223; e.bellendir@hydroproject.ru

Олег Дмитриевич Рубин, д-р техн. наук, директор по научной деятельности АО «Институт Гидропроект», профессор НИУ МГСУ; SPIN-код: 2720-6627, AuthorID:423001, Scopus 7004427140, ResearcherIDAAE-6688-2022, ORCID0000-0002-0630-3251; o.rubin@hydroproject.ru

Сергей Владимирович Юрьев, инженер, заместитель главного инженера по основным сооружениям АО «Институт Гидропроект»; ORCID0000-0002-2609-2711; s.yurev@hydroproject.ru

Сергей Евгеньевич Лисичкин, д-р техн. наук, главный специалист филиала АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС»; SPIN-код: 5423-0643, AuthorID: 368472, Scopus6603919071, ORCID0000-0003-2761-331X, lisichkin1989@rambler.ru

Игорь Вячеславович Баклыков, инженер, ведущий специалист филиала АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС»; SPIN-код: 7987-9045, AuthorID: 915462, Scopus: 56538614100, ORCID0000-0002-8374-9046, i.baklykov@hydroproject.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Юрьев С.В., Лисичкин С.Е., Баклыков И.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 interest

The authors declare no conflict of interest / 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 22.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.01.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 15.01.2024

Author information

Evgeniy N. Bellendir, DSc (Eng), General director JSC “Institute Hydroproject”; SPIN-code: 7975-2841, AuthorID: 272223; e.bellendir@hydroproject.ru

Oleg D. Rubin, DSc (Eng), Director of Scientific Activity of JSC “Institute of Hydroproject”, Professor of the National Research University MGSU, survey and research Institute Hydroproject” – “Research institute of energy structures”, professor NIU MGSU; SPIN-код: 2720-6627, AuthorID:423001, Scopus 7004427140, ResearcherIDAAE-6688-2022, ORCID0000-0002-0630-3251; o.rubin@hydroproject.ru

Sergey V. Yurjev, engineer, Deputy chief engineer on basic structures JSC “Institute Hydroproject”; ORCID0000-0002-2609-2711; s.yurev@hydroproject.ru

Sergey E. Lisichkin, DSc (Eng), chief specialist of the branch of JSC “Institute Hydroproject” – “NIIES (Research institute of energy structures); SPIN-код: 5423-0643, AuthorID: 368472, Scopus6603919071, ORCID0000-0003-2761-331X, lisichkin1989@rambler.ru

Igor V. Baklykov, engineer, leading specialist of the JSC “Institute Hydroproject” – “NIIES (Research institute of energy structures); SPIN-код: 7987-9045, AuthorID: 915462, Scopus: 56538614100, ORCID0000-0002-8374-9046, i.baklykov@hydroproject.ru

Bellendir E.N., Rubin O.D., Yurjev S.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V. performed practical and 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/10.26897/1997-6011-2024-2-57-62>

УДК 626/627: 627.157:532.54



ОЦЕНКА СТАДИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НАНОСОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВОЛНОВОГО ПОТОКА НА ЭЛЕМЕНТЫ РУСЛА ВОДНОГО ОБЪЕКТА АПК

О.Н. Черных^{1✉}, А.В. Бурлаченко², Я.Ю. Бурлаченко¹

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, Россия

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); 125319, г. Москва, Ленинградский пр-кт, 64, Россия

Аннотация. Цель исследований – определение в лабораторных условиях величины и законов распределения донных скоростей волнового потока, при которых наступают различные стадии перемещения частиц и формирования рифелей в зоне пляжных откосов водных объектов АПК. Приведены результаты исследований скоростей, характеризующих режимы движения наносов в волновом потоке, воздействующем на незакрепленные откосы и придонные участки мелководной зоны водоемов и водотоков. Рассматривается влияние искусственной турбулизации потока на характерные скорости потока, в том числе волновой скорости на параметры донных рифелей. Осуществлен анализ влияния искусственной турбулизации на скорости перемещения наносов, даны рекомендации по определению неразмывающей скорости волнового потока при ее отсутствии. Представлена зависимость для определения высоты рифелей. Установлено, что скорости на гребне рифеля возрастают не более чем в 1,7 раза по сравнению со скоростью на ровном дне приустьевой зоны крупного водного объекта.

Ключевые слова: наносы, волновой поток, скорости, воздействие на речные сооружения и берега

Формат цитирования: Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Оценка стадии перемещения наносов при действии волнового потока на элементы русла водного объекта АПК // Природообустройство. 2024. № 2. С. 57-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-57-62>

Original article

ASSESSMENT OF THE STAGE OF SEDIMENT MOVEMENT UNDER THE ACTION OF WAVE FLOW ON THE ELEMENTS OF THE CHANNEL OF A WATER BODY IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

O.N. Chernykh^{1✉}, A.V. Burlachenko², Y.Y. Burlachenko¹

¹ Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia; A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; Russia

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russia

Abstract. The purpose of the work is to determine, in laboratory conditions, the magnitude and laws of distribution of bottom wave flow velocities, at which various stages of particle movement and riffle formation occur in the area of beach slopes of water bodies of the agro-industrial complex. The results of studies of velocities characterizing the regimes of sediment movement in a wave flow acting on loose slopes and bottom areas of the shallow zone of reservoirs and streams are presented. The influence of artificial flow turbulization on characteristic flow speeds, including wave speed on the parameters of bottom riffles, is considered. An analysis of the influence of artificial turbulization on the speed of sediment movement is given and recommendations are given for determining the non-erosive speed of the wave flow in its absence. A dependence is presented for determining the height of the riffles. It has been established that the velocities on the riffle crest increase by no more than 1.7 times compared to the speed on the flat bottom of the near-shore zone of a large water body.

Keywords: sediments, wave flow, velocities, impact on river structures and banks

Format of citation: Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu., Assessment of the stage of sediment movement under the action of a wave flow on the elements of the channel of a water body of the agro-industrial complex // Prirodobustrojstvo. 2024. No 2. P. 57-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-57-62>

Введение. При проектировании берегозащитных мероприятий, предназначенных для обеспечения нормальной работы, как объектов рекреации АПК, так и транспортной магистрали любого класса, проходящей в прибрежной зоне, особое внимание обращается на создание и расширение естественного пляжа на побережье водного объекта. Такой подход объясняется тем, что эффективность берегозащитных мероприятий находится в прямой зависимости от наличия пляжа, который выполняет одновременно и функции волногасителей. Если естественный пляж отсутствует, то принимаются меры по его искусственному образованию путем доставки нерудных материалов из карьеров. Для этих же целей может быть использован щебень, полученный дроблением горных пород.

Проектирование берегозащитных сооружений осуществляется на основе комплекса изысканий, одними из целей которых являются установление динамики пляжа, направления господствующего перемещения наносов и выявление границ региона, в пределах которого происходят зарождение и разгрузка потока наносов. При проектировании особое внимание уделяется решению вопросов устранения возможных отрицательных последствий строительства гидротехнических сооружений (ГТС) для соседних участков берега и предотвращения нарушений сплошности вдоль берегового потока наносов. В последние годы в связи с усилением требований по охране окружающей природы большое значение приобрела проблема сохранения естественного ландшафта побережья, особенно в зонах, используемых для отдыха.

Эффективное решение этой проблемы может быть достигнуто на основе архитектурно-ландшафтного проектирования [1-5]. Конструкции береговых ГТС и их компоновка определяются очертанием береговой линии, рельефом, крутизной и геологическим строением подводного склона, а также характеристиками поля

волнения. При проектировании берегозащитных ГТС учитываются нагрузки, обусловленные фронтально и косо подходящими волнами к берегу, высота наката разрушенных волн, глубина размыва волнами грунтовых оснований, ледовые нагрузки и другие воздействия.

Цель исследований: определение в лабораторных условиях величины и законов распределения донных скоростей волнового потока, при которых наступают различные стадии перемещения частиц и формирования рифелей – донной мелкой волновой ряби: колебание отдельных частиц ($U_{от}$), срыв некоторых частиц, массовый срыв отдельных частиц ($U_{ос}$), образование рифелей ($U_{оп}$), перемещение рифелей ($U_{од}$).

Материалы и методы исследований. Геометрические размеры пляжей устанавливаются с учетом режима уровней и волнения, характерного для данного участка берега. Ширина надводной части пляжа принимается равной длине свободного пробега потока от разрушенной волны по пляжу [1-3]. В некоторых случаях для укрепления от размыва очень пологих (с уклоном менее 1:10) пляжных откосов подпорных грунтовых ГТС водных объектов АПК применяется посадка влаголюбивых кустарников в зоне переменного уровня (рис. 1). Волна, набегающая на полосу растительности (ива и т.п.), разбивается о стволы кустарника и теряет свою энергию, вместе с тем уменьшается как скорость скатывания воды при обратном движении волны, так и ее размывающая способность.

Кинематическая структура потока и режимы движения наносов в волновом потоке, воздействующем на берег водного объекта АПК с естественным либо искусственным пляжем (рис. 1, 2), изучены недостаточно [6].

Для характеристики начальной стадии перемещения отдельных частиц размываемого грунта под воздействием волн вводится обычно понятие не размывающей скорости на высоте выступов шероховатости [6-9].

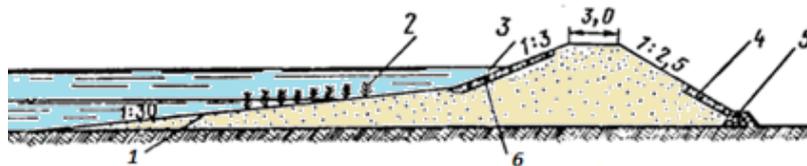


Рис. 1. Поперечное сечение дамбы на водном объекте АПК с укреплением откоса посадкой кустарника:

1 – пляжный откос; 2 – посадка кустарника; 3 – крепление гравием; 4 – наклонный дренаж; 5 – дренажная призма; 6 – отсыпка крепления из камня

Fig. 1. Cross-section of the dam on the water body of the agro-industrial complex with slope reinforcement by planting shrubs:

1 – beach slope; 2 – planting shrubs; 3 – gravel fastening; 4 – sloping drainage; 5 – drainage prism; 6 – stone fastening filling

Экспериментальные исследования проводились в стеклянном лотке длиной 10 м, шириной 55 см и высотой 60 см [10-14]. Волны создавались щитовым волнопродуктором. Средний диаметр частиц отсеянного люберецкого песка, из которого было сложено размываемое дно, составлял $d = 0,20$ мм. Диапазон изменения высоты волн при наполнении лотка 15 см составлял от 13 до 75 мм, а донных волновых скоростей $U_{дон}$ – от 4 до 18 см/с. Эти скорости получены для волнового потока с периодом $\tau = 0,91$ с, длиной волны $\lambda = 1,05$ м [11]. Безразмерный параметр $\kappa H = 0,88$ ($\kappa = 2\pi / \lambda$ – волновое число, H – глубина воды) характеризует мелководную зону. Процесс образования рифелей рассматривался на предварительно выровненном и пронивелированном дне.

Кроме того, было исследовано влияние искусственной турбулизации на не размывающие скорости $U_{дон}$. Для волнового потока эксперименты проводились при скорости не более $2U_{дон}$. Донную волновую скорость определяли на ровном дне с помощью киносъёмки, снимая помещенные на дне лотка пластмассовые шарики диаметром 2 мм. Параметры волн (λ и h) определяли с помощью фотосъёмки профилей волн.

Результаты и их обсуждение. На ровной поверхности при донной скорости волнового потока $U_{\delta} \approx 9$ м/с наблюдалось колебание отдельных мелких частиц, что соответствует понятию не размывающей скорости $U_{дон}$ (табл.).

При возрастании скорости до $(1,0...1,2) U_{дон}$ на ровной поверхности дна происходил срыв отдельных частиц. При скорости $(1,2...1,4) U_{дон}$

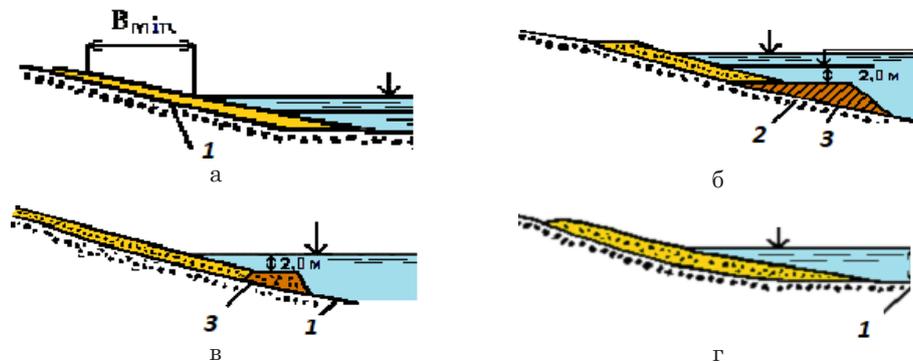


Рис. 2. Эскизы сечения гидротехнического сооружения с естественным подводным склоном: а, б – непроницаемые и сквозные бунты; в – подводный волнолом с траверсами распластанного профиля; г – сооружения для усиления мысовых эффектов; 1 – естественный подводный склон; 2 – подводный банкет; 3 – подводный волнолом распластанного профиля

Fig. 2. Sketches of the cross-section of a hydraulic structure with a natural underwater slope: a, b – impermeable and through bunkers; c – underwater breakwater with traverses of flattened profile; d – structures to enhance cape effects; 1 – natural underwater slope; 2 – underwater banquet; 3 – underwater breakwater with a flattened profile

Таблица. Характеристика движения наносов руслового и волнового потоков
Table. Characteristics of the sediment movement of channel and wave flows

Режим движения наносов Sediment movement mode	Фаза движения наносов Sediment movement phase	Не размывающая средняя скорость руслового потока Non-eroding average channel flow velocity	Не размывающие скорости волнового потока Non-eroding bottom velocities of wave flow	
			без искусственной турбулизации without artificial turbulization	с искусственной турбулизацией with artificial turbulization
I	Колебание отдельных частиц Oscillation of individual particles	Не размывающая U_n Non-eroding U_n	$U_{дн}$	$U'_{дон} = (0,5...0,6) U_{дон}$
II	Сдвиг отдельных частиц Individual particles shift	$U_o = (1,0...1,3) U_{дон}$	$U_{до} = (1,0...1,2) U_{дон}$	$U'_{до} = (0,6...0,8) U_{дон}$
III	Массовый отрыв частиц Particles mass separation	Срывающая Breaking up $U_c = (1,2...1,5) U_{дон}$	$U_{dc} = (1,2...1,4) U_{дон}$	$U'_{dc} = (0,7...0,9) U_{дон}$
IV	Образование рифелей Formation of riffles	$U_p = (1,3...1,8) U_{дон}$	$U_{dp} = (1,4...1,8) U_{дон}$	$U'_{dp} = (0,9...1,3) U_{дон}$
V	Движение рифелей Movement of riffles	-	$U_{dn} = (1,8...2,0) U_{дон}$	$U'_{dn} = (1,3...1,8) U_{дон}$

наблюдался уже массовый срыв частиц, что соответствует понятию срывающей скорости. Рифеля образовывались при скорости $U_{\partial} = (1,4 \dots 1,8) U_{\partialн}$. Сформировавшаяся рифельная поверхность имела в плане прямые линии гребней, перпендикулярные лучу волнения.

Следует отметить, что во время экспериментов для руслового потока наблюдалось образование рифельных гряд, поэтому в таблице режим движения рифелей V не выделен. При скорости $(1,8 \dots 2,0) U_{\partialн}$ начиналось движение рифелей и наблюдалось искривление гребней рифелей в плане.

Для исследования влияния искусственной турбулизации потока на ровной поверхности дна по всей ширине лотка была проделана треугольная канавка глубиной 1 см и шириной по верху 2 см. При донной скорости $U_{\partial} \approx 5$ см/с на передней и задней кромках канавки наблюдалось колебание отдельных наиболее мелких частиц, при этом не размывающая донная скорость при искусственной турбулизации составляла $U'_{\partialн} \approx 5$ см/с и, как следствие, отношение между $U'_{\partialн} / U_{\partialн}$ составляло 0,5...0,6.

При увеличении скорости до $(0,6 \dots 0,8) U_{\partialн}$ на кромках канавки наблюдался сдвиг отдельных частиц. Дальнейшее возрастание донной скорости до $(0,7 \dots 0,9) U_{\partialн}$ вызывало массовый срыв частиц на кромках канавки со срывающейся скоростью $U'_{\partialс}$. При увеличении скорости до $(0,9 \dots 1,3) U_{\partialн}$ на передней и задней кромках канавки образовывалось по рифелю, то есть донная волновая скорость, при которой наблюдается образование рифелей, составляла $U'_{\partialр} = (0,9 \dots 1,3) U_{\partialн}$.

Дальнейшее возрастание донной скорости более $U'_{\partialр}$ приводило к распространению рифелей в обе стороны от канавки и к началу движения рифелей при $U_{\partial} = (1,3 \dots 1,8) U_{\partialн}$.

Из данных таблицы следует, что искусственная турбулизация оказывает более

значительное влияние на начальные скорости перемещения наносов от волнового воздействия $U'_{\partialн} = (0,5 \dots 0,6) U_{\partialн}$ по сравнению с русловым потоком $U'_{\partialн} = 0,7 U_{\partialн}$. Без искусственной турбулизации не размывающие донные скорости руслового и волнового потоков совпадают с точностью до 5...10%, поэтому для определения не размывающих скоростей волнового потока можно воспользоваться рекомендациями, изложенными в работе [7].

По мере возрастания скоростей рифельной фазы движения наносов высота h и шаг λ рифелей увеличиваются (рис. 3а). Эту зависимость для h_p можно аппроксимировать уравнением:

$$h_p = 2,48 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda_{\epsilon} \cdot U_{\partialн} (gd)^{-0,5}, \quad (1)$$

где $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}^2$ – ускорение свободного падения.

Анализ графических зависимостей показал (рис. 3б), что отношение λ_p / h_p не зависит от скорости. При потенциальном обтекании потоком гребня рифеля на его гребне скорость возрастает в 3 раза по сравнению со скоростью на ровном дне [5]. Это объясняется срывом струй с вершин рифелей и возникновением вихрей на подветренном склоне рифеля. Измерения во время проведения экспериментов донных скоростей на ровном дне и на гребне рифеля с помощью электромеханического датчика скорости показали, что скорости на гребне рифеля возрастают только в 1,5...1,6 раза по сравнению со скоростью на ровном дне.

Сравнение донных волновых скоростей $U_{\partialн}$, вычисленных по известной формуле Буссинеска [8, 15-17], с измеренными указали на необходимость ввода поправочного коэффициента [6, 16], $n_c = U_{\text{исп}} / U_{\text{теор}}$ (рис. 4), где $U_{\text{исп}}$ – истинная скорость; $U_{\text{теор}}$ – скорость, вычисленная по формуле Буссинеска [16]:

$$U_{\partialн} = \pi \cdot h \cdot (\pi \cdot \lambda / g)^{-0,5} (Sh \cdot 4\pi \cdot H / \lambda)^{-0,5}, \quad (2)$$

где $\pi = 3,14 \dots$; Sh – число Струхаля.

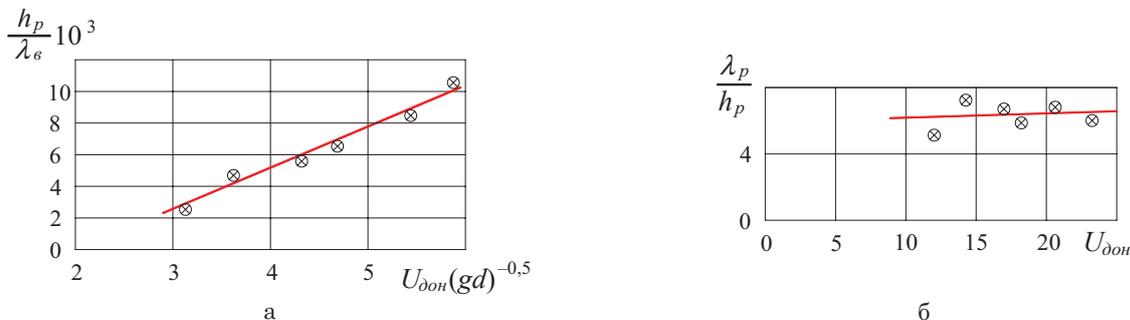


Рис. 3. Экспериментальные зависимости для определения параметров рифелей:

$$a - h_p / \lambda_{\epsilon} = f(U_{\partialн} / \sqrt{gd}); \quad б - \lambda_p / h_p = f(U_{\partialн})$$

Fig. 3. Experimental dependencies for determining the parameters of riffles:

$$a - h_p / \lambda_{\epsilon} = f(U_{\partialн} / \sqrt{gd}); \quad б - \lambda_p / h_p = f(U_{\partialн})$$

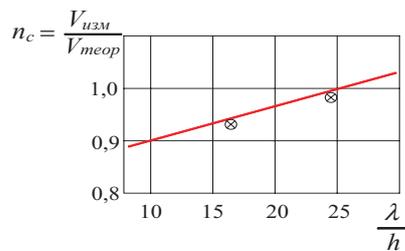


Рис. 4. Сравнение данных эксперимента с рассчитанными по формуле (2)

Fig. 4. Comparison of the experiment data with those calculated by formula (2)

Незначительный разброс точек на рисунке 4 можно объяснить влиянием начальных и граничных условий на поправочный коэффициент.

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

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

Список использованных источников

- Игнатов Е.И., Исаев В.С. Береговые процессы: мониторинг и инновационные комплексные исследования: учебное пособие. Севастополь: Колорит, 2018. 251 с.
- Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебник. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 185 с.
- Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Особенности изменения профиля склона пойменных дамб и берегов водных объектов при волновом воздействии // Природообустройство. 2023. № 2. С. 81-85.
- Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Пути решения проблем Имеретинской бухты // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2021. № 23. С. 33-39.
- Шуляк В.А. Некоторые вопросы взаимодействия волнового потока с деформированным дном при малых скоростях // Труды Института океанологии. 1961. Т. 48.
- Масс Е.И. Исследование не размывающихся скоростей волнового потока для несвязных и связных грунтов: Автореф. дис. ... канд. техн. Тбилиси, 1968. 25 с.
- Мирцхулава Ц.Е. Размыв русл и методика оценки их устойчивости. М.: Колос, 1967. 179 с.
- R.A. Bagnold. The movement by waves, small scale experiments. I. Inst. Civil Eng. 1947. V. 27, № 4.
- Пышкин Е.А., Цайтц Е.С., Сокольников Ю.Н. Регулирование вдоль берегового потока наносов. Киев: Наукова думка, 1972.
- Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Особенности изменения профиля склона пойменных дамб и берегов водных объектов при волновом воздействии // Природообустройство. 2023. № 2. С. 81-85.
- Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Оценка основных параметров волнового воздействия на пологие откосы берегов крупных водных объектов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19, № 1. С. 110-116. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-1-110-116>.

Выводы

- Не размывающие донные скорости волнового потока $U_{дн}$ без искусственной турбулизации можно определить по рекомендациям работы [7]. Для учета искусственной турбулизации можно воспользоваться данными таблицы, полученными на основании проведенных экспериментов.
- Донная волновая скорость влияет на геометрические характеристики λ и h рифелей, которые можно определить по зависимости (1), но пологость рифеля, характеризующаяся отношением λ_p/h_p , не зависит от донной скорости.
- Донная скорость возрастает на гребне рифеля в 1,6...1,7 раза по сравнению с соответствующей скоростью на ровном дне.

References

- Ignatov E.I., Isaev V.S. Coastal processes: monitoring and innovative comprehensive research. – Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 2018. 246 p.
- Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V. Bank protection structures of water bodies, part 2. M.: RGAU-MCXA, 2020. 185 p.
- Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Features of changes in the profile of the slope of floodplain dams and the banks of water bodies under wave influence // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. P. 81-85.
- Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Ways to solve the problems of the Imereti Bay // Bulletin of the educational and methodological association for education in the field of environmental management and water use. 2021. No. 23. P. 33-39.
- Shulyak V.A. Some issues of interaction of a wave flow with a deformed bottom at low speeds. Proceedings of the Institute of Oceanology. V. 48, 1961.
- Mass E.I. Study of non-erosive wave flow velocities for non-cohesive and cohesive soils. Abstract of the dissertation of candidate of technical sciences – Tbilisi, 1968. 25 p.
- Mirtskhulava T.E. Erosion of riverbeds and methods for assessing their stability. – M.: Kolos, 1967.
- R.A. Bagnold. The movement by waves, small scale experiments. I. Inst. Civil Eng. V. 27. No. 4. 1947.
- Pyshkin E.A., Zeitz E.S., Sokolnikov Yu.N. Regulation of alongshore sediment flow. – Kyiv: Naukova Duma, 1972.
- Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Features of changes in the profile of the slope of floodplain dams and the banks of water bodies under wave influence // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. P. 81-85.
- Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Assessment of the main parameters of wave impact on the gentle slopes of the banks of large water bodies [Journal] // Structural mechanics of engineering structures and structures. 2023. V. 19. No. 2. P. 000-000. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-1-110-116>

12. **Алтунин Д.И., Алтунин В.И.** Переформирование откосов пойменных дамб // Гидравлика водопропускных сооружений: Тезисы докладов V Республиканской конференции по научно-техническим проблемам гидравлики дорожных водопропускных сооружений. Саратов: 1985. 205 с.

13. **Алтунин Д.И.** Кинематические характеристики волн на пологих прибрежных склонах // Водопропускные сооружения в условиях Крайнего Севера: Сборник научных трудов. Якутск: ЯГУ, 1986. 132 с.

14. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Iss. 4. Pp. 385-390.

15. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*. 2012.

16. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега. СН-92-60. Стройиздат, 1960.

17. **Ranieri G.** The surf zone distortion of beach profiles in small-scale coastal models. J. of Hydr. Res. 2007. № 45 (2). Pp. 261-269.

12. **Altunin D.I., Altunin V.I.** Reshaping the slopes of floodplain dams // Hydraulics of culverts. Abstracts of reports of the V Republican Conference on scientific and technical problems of hydraulics of road culverts. Saratov; 1985. 205 p.

13. **Altunin D.I.** Kinematic characteristics of waves on gentle coastal slopes // Culvert structures in the Far North. Collection of scientific papers. Yakutsk, ed. YSU, 1986. 132 p.

14. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Issue 4, R. 385-390.

15. SP 38.13330.2012. "Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships)" (updated edition of SNiP 2.06.04-82*). 2012.

16. Technical conditions for determining wave impacts on sea and river structures and banks. SN-92-60. Stroyizdat, 1960.

17. **Ranieri G.** The surf zone distortion of beach profiles in small-scale coastal models. J. of Hydr. Res., 2007,45(2), 261-269.

Об авторах

Ольга Николаевна Черных, канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнических сооружений; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Алёна Владимировна Бурлаченко, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: HPE-1499-2023; Scopus AuthorID: 57191856023; ORCID:0000-0003-2617-9515, SPIN-код: 3155-2490; AuthorID: 1098780; chtara@mail.ru

Ярослав Юрьевич Бурлаченко, соискатель; yaroslav.burlachenko@sneak-mail.ru

Author information

Olga N. Chernykh, DSc (Eng), professor of the department hydro technical structures; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Alyona V. Burlachenko, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: HPE-1499-2023; Scopus AuthorID: 57191856023; ORCID:0000-0003-2617-9515, SPIN-код: 3155-2490; AuthorID: 1098780; chtara@mail.ru

Yaroslav Yu. Burlachenko, applicant; yaroslav.burlachenko@sneak-mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. 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 / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interest / 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 17.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Y., 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/10.26897/1997-6011-2024-2-63-68>

УДК 626/627:624.078:624.15



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ АНКЕРОВ И ВАРИАНТЫ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

З.Г. Ламердонов¹, И.А. Жирикова¹, Т.Ю. Хаширова^{2✉}

¹ Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова; 360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, Россия

² Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия

Аннотация. Авторами статьи впервые предложены комбинированные анкерные сооружения, которые могут быть эффективными и как проволочные анкеры, работающие на выдергивающую нагрузку, и как свайные анкеры, работающие на вдавливающее усилие. Такие сооружения эффективно применять как противооползневые сооружения, опорно-анкерные фундаменты, которые также запатентованы авторами и конструкции которые приводятся в статье. На практике такие сооружения необходимы в качестве фундамента, для столбов линий электропередач, высоких башен, подверженных большой ветровой нагрузке, и для других сооружений. Опора может работать как на вдавливающую нагрузку, так и на выдергивание, в зависимости от конкретных условий. В статье описана методика проведения экспериментальных исследований и представлены их результаты. При проведении исследований в качестве основных факторов были приняты диаметр сваи и конического наконечника, длина свайной части комбинированного анкера, расстояние от конца сваи до конического наконечника. В качестве параметра оптимизации было принято выдергивающее усилие.

Ключевые слова: комбинированный анкер, композитный материал, конусный наконечник, опорно-анкерный фундамент

Формат цитирования: Ламердонов З.Г., Жирикова И.А., Хаширова Т.Ю. Экспериментальные исследования комбинированных анкеров и варианты их практического применения // Природообустройство. 2024. № 2. С. 63-68. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-63-68>.

Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF COMBINED ANCHORS AND OPTIONS FOR THEIR PRACTICAL APPLICATION

Z.G. Lamerdonov¹, I.A. Zhirikova, T.Y. Khashirova

¹ Kabardino-Balkarian state agrarian university named after V.M. Kokov; 360030, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin Ave., 1v, Russia

² Kabardino-Balkarian state university named after H.M. Berbekov; 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Chernyshevskogo str., 173, Russia

Abstract. In the article, the authors for the first time proposed combined anchor structures that can work effectively as wire anchors working on a pulling load, as well as pile anchors working on a pressing force. Such structures can be effectively used as anti-landslide structures, support and anchor foundations, which are also patented by the authors and their designs are given in the article. In practice, such structures are necessary as foundations, for poles of power lines, high towers exposed to high wind loads and other structures. The support can work both on a pressing load and on pulling out, depending on the specific conditions. The research methodology is described and the results of experimental studies are presented. During the research, the following factors were taken as the main factors: the diameter of the pile and the conical tip, the length of the pile part of the combined anchor, the distance from the end of the pile to the conical tip. The pulling force was adopted as an optimization parameter.

Keywords: combined anchor, composite material, cone tip, support and anchor foundation

Format of citation: Lamerdonov Z.G., Zhirikova I.A., Khashirova T.Y. Experimental studies of combined anchors and options for their practical application // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 63-68. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-63-68>

Введение. Многие инженерные сооружения подвержены ветровой нагрузке, и фундаменты работают как на сжимающую, так и на выдергивающую нагрузку. Для таких сооружений более эффективным является использование опорно-анкерных фундаментов [1-3]. К инженерным сооружениям, которые могут работать как на сжимающую, так и на выдергивающую нагрузку, относятся опоры линий высоковольтных передач, высоконапорные башни, рекламные щиты и другие сооружения. Комбинированные анкеры находят широкое применение и для анкерки противооползневых и противоэрозионных гидротехнических сооружений. Гидротехнические сооружения, укрепленные комбинированными анкерами, значительно более устойчивы против оползания и водной эрозии. Устойчивость откосов дамб против оползания с проволочными анкерами повышается в 2-3 раза.

Цель исследований: обоснование актуальности проблемы, связанной с необходимостью разработки фундаментов с двухсторонним действием, то есть сооружений, работающих одновременно и в качестве анкерных, и в качестве свай.

Материалы и методы исследований. Экспериментальные исследования проводились с применением математической теории планирования. Были определены основные факторы и параметры оптимизации. Основными факторами при проведении исследований являются: диаметр сваи и конического наконечника, X_1 ; длина свайной части комбинированного анкера, X_2 ; расстояние от конца сваи до конического наконечника, X_3 .

Уровни варьирования основных факторов комбинированного анкера приведены в таблице 1. В качестве параметра оптимизации принята сила выдергивания.

Исследования проводились на лабораторной модели на песчано-пылеватом грунте (рис. 1). Однако следует отметить, что представленное техническое решение предлагается использовать для на скальных грунтах, причем эффективность использования проволочных анкеров возрастает на песчаном грунте. Схема лабораторных испытаний показана на рисунке 2.

Матрица плана проведения и результаты исследований комбинированных анкеров представлены в таблице 2.

Модели комбинированных анкеров с коническим наконечником представлены на рисунке 3, схема – на рисунке 4.

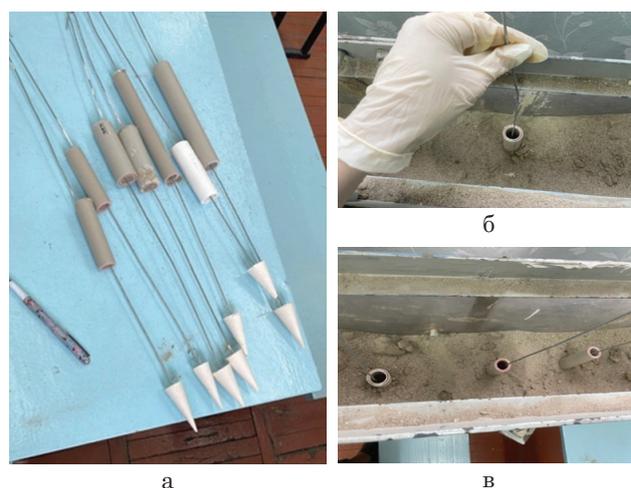


Рис. 1. Экспериментальные исследования комбинированных анкеров:

- а – общий вид комбинированных анкеров;
- б – установка комбинированных анкеров;
- в – испытание комбинированных анкеров

Fig. 1. Experimental studies of combined anchors:

- a – general view of combined anchors;
- b – installation of combined anchors;
- v – testing of combined anchors

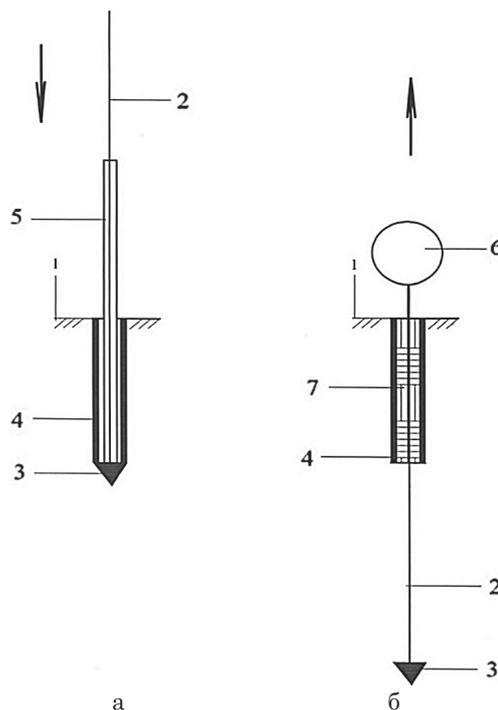


Рис. 2. Схема лабораторных испытаний:

- а – схема установки комбинированного анкера;
- б – схема испытания на выдергивание комбинированного анкера;
- 1 – грунт; 2 – проволока; 3 – конический наконечник;
- 4 – модель сваи; 5 – направляющая штанга;
- 6 – динамометр; 7 – заливка гипсом

Fig. 2. Laboratory test scheme:

- a – combined anchor installation diagram;
- b – combined anchor pull-out test scheme;
- 1 – soil; 2 – wire; 3 – conical tip; 4 – pile model;
- 5 – guide rod; 6 – dynamometer; 7 – gypsum pouring

Таблица 1. Уровни варьирования основных факторов комбинированного анкера
Table 1. Levels of variation of the main factors of the combined anchor

Факторы Factors	Уровни факторов Levels of factors			Интервал варьирования Interval of variation
	-1	0	+1	
Диаметр сваи и конического наконечника, X_1 , мм Diameter of the pile and conical tip, X_1 , mm	10	20	30	10
Длина свайной части комбинированного анкера, X_2 , мм Length of the pile part of the combined anchor, X_2 , mm	10	20	30	10
Расстояние от конца сваи до конического наконечника, X_3 , мм Distance from the pile end to the conical tip, X_3 , mm	20	30	40	10

Таблица 2. Матрица плана проведения и результаты исследований комбинированных анкеров

Table 2. Matrix of the implementation plan and results of combined anchor studies

№ п/п	Уровни варьирования факторов Levels of factors variation				Критерий оптимизации Criterion of optimization
	X_0	X_1	X_2	X_3	Сила выдергивания P , Н Pulling force P , Н
1	1	-1	-1	0	20
2	1	0	-1	1	65
3	1	0	-1	-1	50
4	1	1	-1	1	110
5	1	1	-1	1	100
6	1	-1	0	-1	80
7	1	1	0	1	118
8	1	1	0	1	115
9	1	-1	1	-1	70
10	1	-1	1	-1	75
11	1	1	1	1	125
12	1	0	1	1	95
13	1	0	0	0	83
14	1	0	0	0	80
15	1	0	0	0	85



Рис. 3. Модели комбинированных анкеров с коническим наконечником
Fig. 3. Models of combined anchors with a conical tip

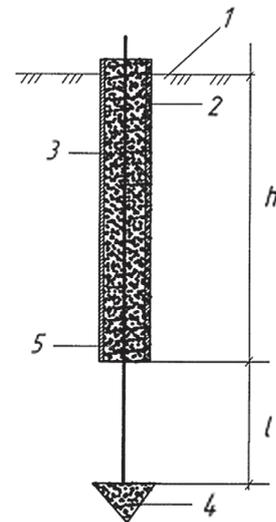


Рис. 4. Поперечный разрез комбинированного анкера в рабочем положении, установленного на требуемую глубину:
1 – грунт основания; 2 – свая длиной h ;
3 – проволока с коническим наконечником 4;
5 – композиционный материал

Fig. 4. Cross-section of the combined anchor in the working condition installed on the required depth:
1 – soil of the foundation; 2 – pile of the length h ;
3 – wire with a conical tip; 4; 5 – composite material

Результаты и их обсуждение. Разработаны и запатентованы конструктивные решения комбинированного анкера и опорно-анкерного фундамента [5-13]. Опорно-анкерный фундамент показан на рисунках 5, 6.

В результате проведения эксперимента и математической обработки его результатов с использованием современных цифровых технологий были получены уравнения множественной регрессии, устанавливающие связь параметра оптимизации с основными выбранными факторами, влияющими на усилия. Уравнение связи имеет вид:

$$P = 82,67 - 2,25X_1 + 2,00X_2 + 20,50X_3 - 5,00X_1X_2 + 93,67X_1X_3 + 13,00X_2X_3 - 56,42X_1^2 - 1,50X_2^2 - 21,67X_3^2, \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3 – безразмерные значения факторов в кодированном виде; P – сила выдергивания (в безразмерных единицах).

Оценка адекватности полученной модели осуществлялась по критерию Фишера. Число Фишера, полученное по результатам экспериментальных исследований, меньше табличного значения, что свидетельствует об адекватности модели [3, 4].

Регрессионный факторный анализ результатов экспериментальных исследований комбинированных анкеров. Используя пошаговый метод, определяем наибольшие значения функции (1):

$$P_{kmax} = 124,249 (X_1 = 0,950, X_2 = 0,800, X_3 = 0,750).$$

Расчет в зоне максимума однофакторных моделей дает следующие уравнения:

$$P_{kmax} = 50,447 + 82,436X_1; \quad (2)$$

$$P_{kmax} = 88,468 + 89,862X_2; \quad (3)$$

$$P_{kmax} = 112,700 + 31,650X_3. \quad (4)$$

Уравнения параметра оптимизации в зонах максимум относительно двух факторов имеют вид:

$$P_{k,max} = 85,856 + 7,500X_1 + 0,875X_2 + 93,670X_1X_2; \quad (5)$$

$$P_{k,max} = 48,161 + 72,686X_1 + 19,300X_3 + 13,000X_1X_3; \quad (6)$$

$$P_{k,max} = 76,020 + 90,987X_2 + 32,850X_3 - 1,500X_2X_3. \quad (7)$$

Наиболее значимыми факторами в результате ранжирования являются: диаметр свай и конического наконечника, X_1 ; длина свайной части комбинированного анкера, X_2 . Относительно этих двух факторов строятся поверхности отклика.

В формулах (2)-(7) значения $P_{k,max}$, максимальная сила выдергивания, а также факторов X_1, X_2, X_3 – безразмерные.

Формула для определения выдергивающего усилия P (кН) в зависимости от диаметра свай, длины свайной будет разработана на последующих этапах работы.

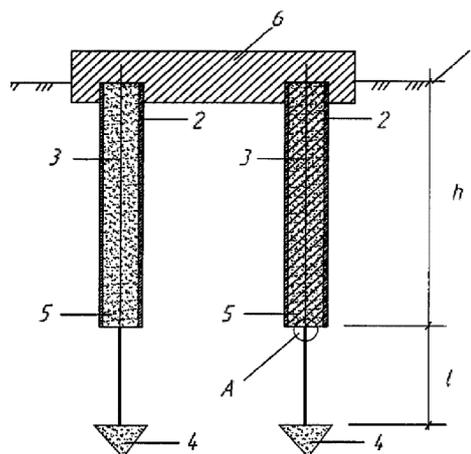


Рис. 5. Поперечный разрез опорно-анкерного фундамента в рабочем положении:

- 1 – грунт основания; 2 – свая длиной h ;
- 3 – проволока; 4 – конический наконечник;
- 5 – композиционный материал;
- 6 – ростверк; 7 – изолятор

Fig. 5. Cross-section of the support-anchor foundation in the working condition:

- 1 – soil of the foundation; 2 – pile of the length h ,
- 3 – wire; 4 – conical tip; 5 – composite material;
- 6 – grill; 7 – isolator

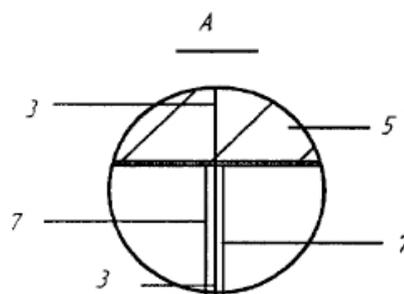


Рис. 6. Узел А

Fig. 6. Unit A

Таблица 3. Ранжирование факторов в зоне max

Table 3. Ranking of factors in the max zone

Значение $\Delta P_k X(3)$ / Value $\Delta P_k X(3)$			Степень влияния факторов при их ранжировании The degree of influence of factors in their ranking
X_1	X_2	X_3	
164,872	179,723	63,300	$\Delta P_{k\{X_1\}} > \Delta P_{k\{X_2\}} > \Delta P_{k\{X_3\}}$, max

Выводы

Обоснована актуальность проблемы, связанной с необходимостью разработки фундаментов с двухсторонним действием, то есть сооружений, работающих одновременно и как анкерные, и в качестве свай. Такими сооружениями, для которых разработаны подобные фундаменты, являются высокие башни, рекламные щиты и другие сооружения, подверженные большой ветровой нагрузке. Представлено конструктивное решение комбинированного анкера и опорно-анкерного фундамента. Проведены экспериментальные исследования моделей сооружений с использованием математической теории планирования эксперимента, получено уравнение регрессии. Описана методика экспериментальных исследований и приведены

их результаты. При проведении исследований в качестве основных факторов приняты диаметр свай и конического наконечника, длина свайной части комбинированного анкера, расстояние от конца свай до конического наконечника. В качестве параметра оптимизации принято выдергивающее усилие. Получена адекватная модель, адекватность проверена по критерию Фишер, осуществлен факторный анализ в зоне максимума. Наиболее значимыми факторами в результате ранжирования являются диаметр свай и конического наконечника, длина свайной части комбинированного анкера. Комбинированные анкеры могут найти широкое применение в охране земель от водной эрозии, от оползней, в закреплении верховых откосов берегозащитных дамб и т.д.

Список использованных источников

1. **Хаширова Т.Ю., Ламердонов З.Г., Кузнецов Е.В.** Системный подход в решении экологических проблем охраны горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока // Экологические системы и приборы. 2007. № 9. С. 29-33.
2. **Хаширова Т.Ю., Ламердонов З.Г., Кузнецов Е.В.** Концептуальная модель охраны горных и предгорных ландшафтов как природно-техногенного комплекса природообустройства // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. № 6. С. 43-46.
3. **Хаширова Т.Ю.** Методические основы статистического планирования эксперимента при проведении неуправляемых натуральных исследований // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимое условие социально-экономического развития страны: Сборник научных трудов. М.: МГУП, 2005. Ч. 2. С. 176-181.
4. Таблицы планов эксперимента для факторных полиномиальных моделей: Справочное пособие / В.З. Бродский и др. М.: Металлургия, 1982. 752 с.
5. Проволочный анкер с коническим наконечником: Патент № 2486317 РФ, МПК E02D17/20 (2006.01) / З.Г. Ламердонов, М.А. Еналдиева. Заявитель и патентообладатель – Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия им. В.М. Кокова. № 2011117973/03. Заяв. 04.05.2011. Опубл. 27.06.2013. Бюл. № 6с.
6. Устройство для анкерки противооползневых сооружений: Патент № 2486316 РФ, МПК E02D17/20 / З.Г. Ламердонов, М.А. Еналдиева. Заяв. 04.05.2011. Опубл. 27.06.2013. Бюл. № 31.
7. Комбинированный анкер: Патент № 188078 РФ, МПК E02D27/50 (2006.01) / З.Г. Ламердонов, И.А. Хамукова. Заявитель и патентообладатель – Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2018143764. Заяв. 10.12.2018. Опубл. 28.03.2019.
8. Опорно-анкерный фундамент: Патент № 190605 РФ, МПК E02D27/50 (2006.01) / З.Г. Ламердонов, И.А. Хамукова. Заявитель и патентообладатель – Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2019109790. Заяв. 02.04.2019. Опубл. 04.07.2019. Бюл. № 19.

References

1. **Khashirova T.Yu.** A systematic approach to solving environmental problems of protection of mountain and foothill landscapes by solid runoff management / T.Yu. Khashirova Z.G. Lamerdonov, E.V. Kuznetsov // Ecological systems and devices. 2007. No. 9. P. 29-33.
2. **Khashirova T.Yu.** Conceptual model of protection of mountain and pre-mountain landscapes as a natural and technogenic complex of environmental management / T.Yu. Khashirova Z.G. Lamerdonov, E.V. Kuznetsov // Melioration and water management. 2007. No. 6. P. 43-46.
3. **Khashirova T.Y.** Methodological foundations of statistical experiment planning during uncontrolled field studies // Environmental management and rational nature management – a necessary condition for the socio-economic development of the country: Collection of scientific papers. Part 2. M.: MGUP, 2005. P. 176-181.
4. Tables of experimental plans for factorial polynomial models. Reference manual / Brodsky V.Z. et al. M.: Metallurgy, 1982. 752 p.
5. **Patent No. 2486317** of the Russian Federation IPC E02D17/20 (2006.01). Wire anchor with a conical tip / Lamerdonov Z.G., Enaldieva M.A.; Applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy named after V.M. Kokov. – No.2011117973/03; Application 04.05.2011; Publ. 06/27/2013. Byul. No. 6s.
6. **Patent 2486316** RF, IPC E02D17/20. Device for anchoring anti-landslide structures / Z.G. Lamerdonov, M.A. Enaldieva; application 04.05.2011; publ. 27.06.2013. Byul. No. 31.
7. **Patent No.188078** of the Russian Federation IPC E02D27/50 (2006.01). Combined anchor / Lamerdonov Z.G., Khamukova I.A.; Applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. No.2018143764; Application dated 10.12.2018; publ.: 03/28/2019.
8. **Patent No.190605** of the Russian Federation IPC E02D27/50 (2006.01). Support and anchor foundation / Lamerdonov Z.G., Khamukova I.A.; Applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. No.2019109790; Application 02.04.2019; publ.: 04.07.2019. Byul. No. 19.
9. **Enaldieva M.A.** Protection of landslide sites with anti-landslide structures – wire anchors with conical

9. **Еналдиева М.А.** Охрана оползневых участков противопопзневными сооружениями – проволочными анкерами с коническими и поворотными наконечниками: Дис. ... канд. техн. наук / ФГОУВПО «Кубанский государственный аграрный университет». Краснодар, 2016. 178 с.

10. Способ возведения противозрозийной защиты склонов: Патент № 2318096 РФ, МПК E02D17/20 / Т.Ю. Хаширова. Заяв. 16.05.2006. Оpubл. 27.02.2008. Бюл. № 6.

11. Способ закрепления откосных креплений дамб: Патент № 2579032 РФ, МПК E02D17/20. / З.Г. Ламердонов. Заяв. 11.02.2015. Оpubл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

12. Способ закрепления дамб на низовом откосе: Патент № 2579035 РФ, МПК E02D17/20 / З.Г. Ламердонов. Заяв. 13.02.2015. Оpubл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

13. **Ламердонов З.Г.** Гибкие откосные крепления // Гидротехническое строительство. 2003. № 1. С. 39-43.

Об авторах

Замир Галимович Ламердонов, д-р техн. наук, профессор; SPIN-код 7975-9520, AuthorID: 360004; lamerdonov-zamir@rambler.ru

Инна Аликовна Жирикова, аспирант; SPIN-код 4171-6483, AuthorID: 360004; innazh94@mail.ru

Татьяна Юрьевна Хаширова, д-р техн. наук, профессор; SPIN-код 5948-9742, AuthorID: 360004; khashirova@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ламердонов З.Г., Жирикова И.А., Хаширова Т.Ю. 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 / 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 18.08.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 06.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 06.02.2024

and rotary tips / dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / FGOUVPO "Kuban State Agrarian University", Krasnodar, 2016. 178 p.

10. Patent 2318096 RF, IPC E02D17/20. Method of erecting anti-erosion protection of slopes / T.Y. Khashirova; application. 05/16/2006; publ. 02/27/2008. Byul. No. 6.

11. Patent 2579032 RF, IPC E02D17/20. The method of fixing the slope fastenings of dams/ Z.G. Lamerdonov; application 11.02.2015; publ. 27.03.2016. Byul. No. 9.

12. Patent 2579035 RF, IPC E02D17/20. The method of fixing dams on the lower slope / Z.G. Lamerdonov; application 13.02.2015; publ. 27.03.2016. Byul. No. 9.

13. **Lamerdonov Z.G.** Flexible slope fasteners // Hydraulic engineering construction. 2003. No. 1. P. 39-43.

Author information

Zamir G. Lamerdonov, DSC (Eng), professor; SPIN- код 7975-9520, AuthorID: 360004; lamerdonov-zamir@rambler.ru

Inna A. Zhirikova, post graduate student; SPIN 4171-6483, AuthorID: 360004; innazh94@mail.ru

Tatjana Yu. Khashirova, DSc (Eng), professor; SPIN 5948-9742, AuthorID: 360004; Khashirova@mail.ru

Lamerdonov Z.G., Zhirikova I.A., Khashirova T.Y. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-69-78>

УДК 556.51:631.432.4:551.5



ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕЧНОГО БАССЕЙНА В СОВРЕМЕННОМ КЛИМАТЕ

И.Г. Исмайылова

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

Аннотация. Рассмотрена оценка трансформации элементов водного баланса бассейна Волги в зоне формирования у г. Волгограда за весь период XX в. и в начале первой половины XXI в. Проведенный ретроспективный сопряженный анализ элементов водного баланса (далее – ЭВБ) бассейна р. Волги основан на использовании достаточно длительных гидрометеорологических массивов исходных данных наблюдений, охватывающих период 1891/1892-2020/2021 гг. Организованы два различной длительности ряда, в которых отражены значения годовых и сезонных осадков, речного стока, испарения, изменения бассейновых влагозапасов и колебания температуры воздуха холодного и теплого периодов и года в целом. Установлено, что до 1935 г. в многолетнем ходе стока бассейна р. Волги основополагающими факторами являются природные факторы, которые выражаются в характере увлажнения территории, режиме общего испарения с ее поверхности и изменении влагозапасов в почвогрунтах. С 1935 г. на изменение уровня воды в Волге большое влияние оказала деятельность человека, особенно режимы работы Волжско-Камского каскада гидроузлов. Однако антропогенные влияния не затрагивают формирование боковых притоков, которые контролируются 11 водохранилищами Волжско-Камского каскада. Поэтому для ретроспективного сопряженного анализа ЭВБ бассейна р. Волги были использованы 2 условно-естественных временных ряда разной длительности.

Ключевые слова: нестационарность, разностная интегральная кривая, речной водосбор, водный баланс, водохранилища, поверхностный сток, сопряженный анализ, модель климата, приземной слой воздуха, климатическая система, элементы водного баланса

Формат цитирования: Исмайылова И.Г. Исследование многолетней изменчивости элементов водного баланса речного бассейна в современном климате // Природообустройство. 2024. № 2. С. 69-78. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-69-78>

Original article

INVESTIGATION OF THE LONG-TERM VARIABILITY OF THE ELEMENTS OF THE WATER BALANCE OF THE RIVER BASIN IN THE MODERN CLIMATE

I.G. Ismailylova

Russian State Agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya ul.49, Russia

Abstract. The assessment of changes in the elements of the water balance of the Volga River basin in the formation zone near Volgograd for the entire period of the twentieth century and at the beginning of the first half of the XXI century is considered. The conducted retrospective conjugate analysis of the EWB of the Volga River basin is based on the use of sufficiently long hydro meteorological arrays of initial observation data covering the period 1891/1892-2020/2021. Two time series of annual and seasonal values of atmospheric precipitation, river runoff, total evaporation of land, changes in basin moisture reserves and changes in surface air temperature of the cold and warm periods and the year as a whole are organized. It was established that until 1935, in the long-term course of the runoff of the Volga River basin, natural factors were of decisive importance, i.e. the nature of the humidification

of the territory, the regime of total evaporation from its surface and the change in moisture reserves in the soil-soils. Since 1935, the water content of the river has changed. Human economic activity began to have a significant impact on the Volga, especially the operating modes of the Volga-Kama cascade of waterworks. However, anthropogenic influences do not affect the formation of lateral tributaries, which are controlled by 11 reservoirs of the Volga-Kama cascade. Therefore, for a retrospective conjugate analysis of the EWB of the Volga River basin, two conditionally natural time series of different durations were used.

Keywords: unsteadiness, difference integral curve, river catchment, water balance, reservoirs, surface runoff, conjugate analysis, climate model, surface air layer, climate system, elements of water balance

Format of citation: Isмайлова И.Г. Investigation of the long-term variability of the elements of the water balance of the river basin in the modern climate // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 69-78. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-69-78>

Введение. Наличие в колебаниях речного стока тренда, обусловленного антропогенным воздействием на речной сток, а также выдвигаемые гипотезы о возможных изменениях глобального и регионального климата [1-3] ставят под сомнение принятие концепции о стационарности многолетних колебаний речного стока. Возникает необходимость оценки степени изменчивости элементов водного баланса (ЭВБ) речного бассейна за длительный период в современном климате и климате будущего. В работах [4-6] обнаружена недостаточность подхода к установлению стационарности формирования речного стока в течение длительного периода. В целях решения проблемы управления водными ресурсами необходимо подвергнуть сомнению представления, которые касаются стационарности режима вод речных бассейнов. Эта ситуация обусловлена изменением ЭВБ и режима вод речных бассейнов как ввиду естественных отклонений гидрометеорологических условий в результате глобального и регионального изменения климата, так и в результате воздействия на речные бассейны антропогенных факторов.

Цель исследований: выявление изменений, происходящих в многолетнем колебании речного стока бассейна р. Волги в зоне формирования у г. Волгограда на фоне возможных изменений других элементов водного баланса (таких, как осадки, общее испарение и изменение бассейновых влагозапасов) для разработки комплексных мероприятий по минимизации негативных последствий изменения глобального и регионального климата в экономике региона и в окружающей природной среде.

Материалы и методы исследований. Для оценки трансформации водных ресурсов бассейна р. Волги в современном климате необходимо прежде всего провести сравнительный анализ элементов водного баланса: атмосферные осадки (P), суммарное испарение (E), речной сток (R) и изменение бассейновых влагозапасов ($\pm\Delta V$). Кроме этих ЭВБ, для сопряженного

анализа были использованы такие показатели, как температура приземного слоя (T), эффективные осадки, которые участвуют в формировании речного стока (P-E). Необходимо иметь достаточно длительные временные ряды для вышеуказанных гидрометеорологических характеристик створов исследуемого речного бассейна.

Благодаря существующим опорным гидрологическим и метеорологическим станциям в нашем распоряжении имеются длительные временные ряды атмосферных осадков и речного стока для условий современного климата. При этом нами были использованы среднееголетние значения годовых осадков (по данным Мирового центра данных МЦД (meteo.ru) – Российский гидрометеорологический портал) за период 1891/1892-2020/2021 гг., $n = 130$ лет, и две версии временного ряда притока речных вод бассейна р. Волги по данным ОАО «Институт Гидропроект»: наблюдаемая – период 1881/1882-2000/2001 гг., $n = 120$ лет; условно-естественная (восстановленная) за период 1881/1882-2020/2021 гг., $n = 140$ лет.

Кроме того, в условиях современного климата для сопряженного анализа используется условно-естественный сток р. Волги в зоне формирования у г. Волгограда за период 1914/1915-2020/2021 гг., $n = 107$ лет. Для сопряженного анализа также использована температура приземного слоя воздуха за период 1901/1902-2020/2021 гг., $n = 120$ лет. Естественно, возникает вопрос о получении длительных временных рядов суммарного испарения и бассейновых влагозапасов бассейна р. Волги в зоне формирования у г. Волгограда. С этой целью для определения суммарного испарения и бассейновых влагозапасов была использована методика, приведенная в работах [7-9].

Установлено, что при учете закономерностей динамики ЭВБ речной бассейн рассматривается, с одной стороны, как единый индикативный объект, а с другой стороны – как объект, в котором существует множество разных природных

и антропогенно преобразованных ландшафтов, каждый из которых привносит свой вклад в формирование ЭВБ. Под воздействием разных условий увлажнения и нагрузок на ландшафты происходит изменение структуры водного баланса территории речного бассейна. На одинаковые осадки возможны всевозможные реакции речных водосборов, зависящие от разных сочетаний факторов – как климатических, так и неклиматических. В соответствии с этим выявляются, анализируются и обобщаются закономерности межгодовой и сезонной изменчивости ЭВБ речного бассейна в многолетнем разрезе. Методической основой для такого анализа и обобщения являются методы математической статистики и вероятностного анализа временных рядов, сформированных гидрометеорологическими наблюдениями.

Процесс формирования ЭВБ, согласно распространенному мнению, имеет вероятностный характер, а сами показатели воспринимаются как стохастический процесс. Процесс, описываемый в количественном выражении как стохастический, характеризуется случайной функцией, зависящей от времени. Это означает, что значения данной функции в любой момент времени будут являться произвольными величинами. Отсюда последовательность показателей ЭВБ, приобретенных в одинаковых временных промежутках, является динамическим или временным

рядом, а вероятностная модель, которая ему соответствует – случайным процессом с дискретным временем. Этот процесс обладает определенными характеристиками, среди которых выделяются математическое ожидание (среднепогодное значение), дисперсия или среднеквадратическое отклонение, взаимная корреляционная и автокорреляционная функции.

Результаты и их обсуждение. Гидрологический цикл неразрывно связан с изменениями в температуре и радиационном балансе атмосферы. Поэтому для выявления возможных тенденций в колебаниях составляющих водного баланса и определяющих их факторов за инструментальный период наблюдений необходимо прежде всего провести анализ динамики временного ряда температуры приземного воздуха водосбора бассейна р. Волги.

Проанализированы среднегодовая температура воздуха за холодный и теплый периоды бассейна р. Волги в зоне формирования стока у г. Волгограда за период 1901/1902-2020/2021 гг. С учетом большой протяженности водосбора бассейна р. Волги проанализированы также изменения температуры приземного воздуха для Верхней Волги, Средней Волги, Нижней Волги, и отдельно – р. Камы.

В таблице 1 приведены результаты анализа: начиная с 1975/1976 г., наблюдается

Таблица 1. Исследование температуры приземного воздуха среднегодового, холодного и теплого периодов, °С, бассейна р. Волги в зоне формирования стока за период 1901/1902-2020/2021 гг. (климатический год – XI-III, холодный период – XI-III, теплый период – IV-X)

Table 1. Investigation of the surface air temperature of the average annual, cold and warm period (°C) of the Volga River basin in the zone of the flow formation for the period of 1901/1902-2020/2021 years (climate year XI-III, cold period XI-III, warm period IV-X)

№ п/п	Водосборы <i>Watercatchments</i>	Периоды <i>Periods</i>	Температура / <i>Temperature</i>		Приращение °С (в %-ах) <i>Increase °C (in %)</i>
			Период / <i>Period</i> 1901/1902/1975/1976	Период / <i>Period</i> 1976/1977/2020/2021	
1	Р. Волга – зона формирования у г. Волгограда <i>Volga River – formation zone near Volgograd</i>	Год / <i>Year</i>	3,2	4,2	1,0 (31)
		Холодный / <i>Cold</i>	-8,9	-7,2	-1,7 (20)
		Теплый / <i>Warm</i>	11,8	12,4	0,6 (5)
2	Верхняя Волга <i>Upper Volga</i>	Год / <i>Year</i>	3,5	4,4	0,9 (26)
		Холодный / <i>Cold</i>	-7,1	-5,7	-1,4 (20)
		Теплый / <i>Warm</i>	11,1	11,6	0,5 (5)
3	Средняя Волга <i>Middle Volga</i>	Год / <i>Year</i>	3,4	4,2	0,8 (24)
		Холодный / <i>Cold</i>	-8,8	-7,5	-1,3 (15)
		Теплый / <i>Warm</i>	12,1	12,6	0,5 (4)
4	Нижняя Волга <i>Lower Volga</i>	Год / <i>Year</i>	4,7	5,8	1,1 (24)
		Холодный / <i>Cold</i>	-8,9	-7,1	-1,8 (20)
		Теплый / <i>Warm</i>	14,5	15,1	0,6 (4)
5	Р. Кама <i>Kama River</i>	Год / <i>Year</i>	1,4	2,4	1,0 (71)
		Холодный / <i>Coold</i>	-11,6	-9,8	-1,8 (16)
		Теплый / <i>Warm</i>	10,7	11,1	0,4 (4)

тенденция в сторону повышения средней многолетней годовой (нормы) температуры приземного воздуха в бассейне р. Волги в зоне формирования стока (приращение составляет $1,0^{\circ}\text{C}$). Эти изменения особенно заметны в холодный период года (приращение $-1,7^{\circ}\text{C}$). В теплый период года, наоборот, наблюдается тенденция умеренного повышения нормы температуры приземного воздуха (приращение $-0,6^{\circ}\text{C}$).

Сравнение изменений нормы температуры приземного воздуха по выделенным районам бассейна Волги с бассейном р. Волги в целом свидетельствует о наличии тенденций синхронности в многолетнем колебании температуры приземного воздуха. Как следует из анализа (табл. 1) динамики температурного режима водосбора бассейна р. Волги, потепление этой

климатической системы в последнюю четверть XX в. является неоспоримым. Повышение температуры приземного воздуха бассейна р. Волги подтверждается и глобальным изменением средней температуры Земли и отдельных ее континентов и регионов [1, 2, 10, 11]. По данным этих источников, начиная с 70-х гг., климат стал значительно теплее. Десятилетие 1990-х гг. стало самым теплым за весь период наблюдений. Исследователям представляется, что основной предпосылкой такого изменения климата является антропогенная эмиссия парниковых газов и аэрозолей, которая будет увеличиваться в течение нашего века.

На рисунках 1 и 2 представлена изменчивость сезонных и годовых элементов водного баланса за длительный период бассейна Волги в зоне

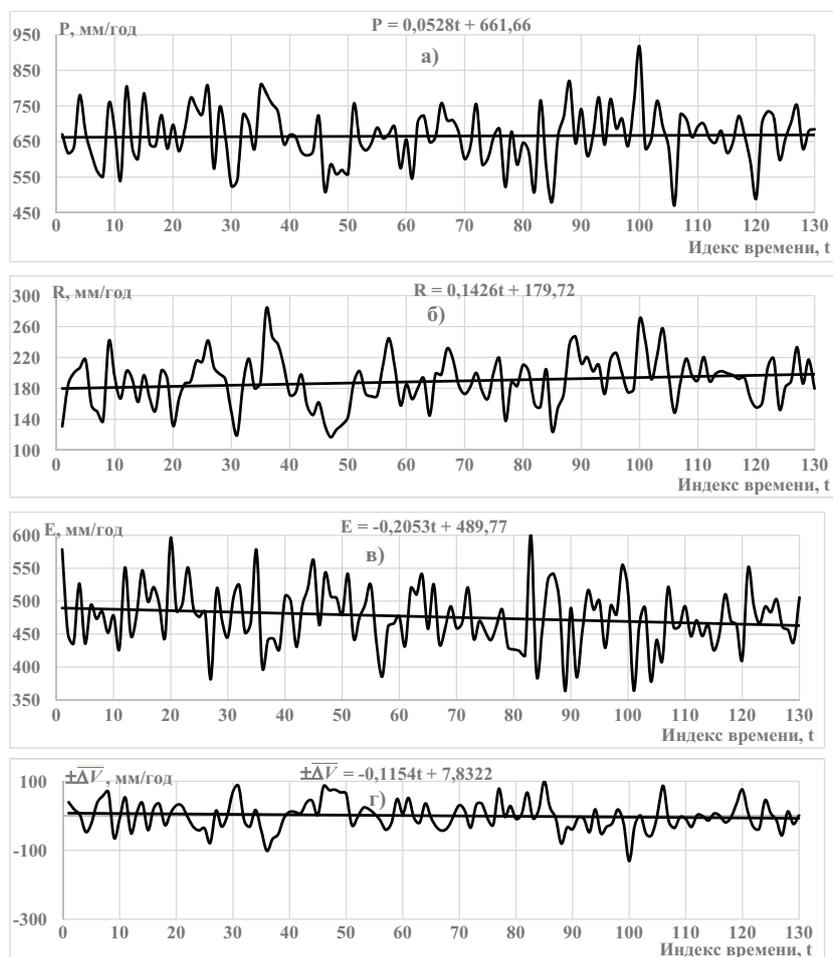


Рис. 1. Изменчивость ЭВБ за длительный период (год) бассейна р. Волги в зоне формирования, 1891/1892-2020/2021:

а) осадки (P); б) речной сток (R); в) общее испарение (E); г) бассейновые запасы ($\pm\Delta V$).

Для условий современного климата (базовый период):

$\bar{P} = 665$ мм/год; $R = 189$ мм/год ($257 \text{ км}^3/\text{год}$); $E = 476$ мм/год; $\pm\Delta V = 0,0$ мм/год

Fig. 1. WEB variability for the long-term period of the Volga River basin in the formation zone for 1891/1892-2020/2021: a) precipitation (P); b) river flow R; c) total evaporation E; d) basin moisture reserves ($\pm\Delta V$).

For the conditions of the modern climate (base period): $\bar{P} = 665$ mm/year; $R = 189$ mm/year ($257 \text{ km}^3/\text{year}$); $E = 476$ mm/year; $\pm\Delta V = 0,0$ mm/year

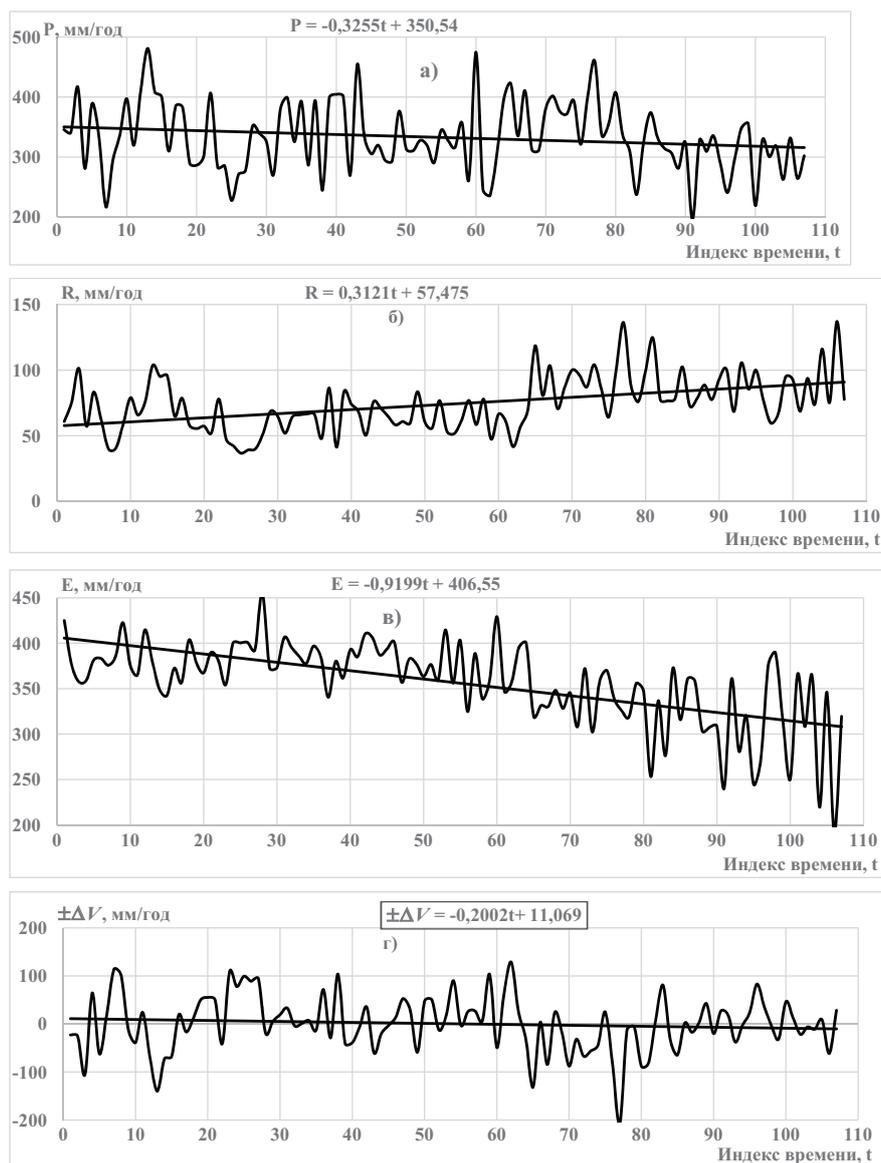


Рис. 2. Изменчивость ЭВБ за длительный период (межень бассейна р. Волги) в зоне формирования за период 1914/1915-2020/2021 гг.:

а) осадки (P); б) речной сток (R); в) общее испарение (E); г) бассейновые влаготпасы ($\pm\Delta V$).

Для условий современного климата (базовый период 1914/1915-2020/2021 гг.):

$$\bar{P} = 333 \text{ мм/год}; \bar{R} = 74 \text{ мм/год (100 км}^3\text{/г.)}; \bar{E} = 357 \text{ мм/год}; \pm\Delta V = 0,0$$

Fig. 2. WEB variability for the long-term period of the low water of the Volga River basin in the formation zone for the period of 1914/1915-2020/2021:

a) precipitation (P); b) river flow R; c) total evaporation E; d) basin moisture reserves; b) ($\pm\Delta V$).

For the conditions of the modern climate (base period 1914/1915-2020/2021): $\bar{P} = 333 \text{ mm/year}$;

$$\bar{R} = 74 \text{ mm/year (1007 km}^3\text{/year)}; \bar{E} = 357 \text{ mm/year}; \pm\Delta V = 0,0 \text{ mm/year}$$

формирования у г. Волгограда. По данным рисунков можно наблюдать присущее гидрометеорологическим характеристикам чередование аномальных лет и их групп в изменчивости сезонных и годовых ЭВБ; в чередовании аномальных лет и их групп – по осадкам с увеличивающейся и уменьшающейся степенью увлажненности территории, по речному стоку многоводных и маловодных лет и т.п. В изменчивости осадков года и межени наблюдается синхронный характер и тенденция их увеличения. В начале XX в., с 1914/1915

до 1929/1930 гг. (первый интервал), последней четверти XX в., с 1978/1979 по 2020/2021 гг. (второй интервал), наблюдается повышение значения атмосферных осадков. Среднемноголетние величины атмосферных осадков в указанные интервалы составляют 669 и 696 мм/год при климатической норме 665 мм/год. Эти же интервалы характеризуются повышенной водностью. Среднемноголетний речной сток составил 205 и 210 мм/год при норме базового периода 189 мм/год.

В изменчивости за длительный период годовых объемов стока Волги фиксируются два маловодных периода: первый – с 1930/1931 по 1945/1946 гг. (критически маловодный), в котором значение среднемноголетнего стока составило 160 мм/год (218 км³/год); второй – с 1946/1947 по 1977/1978 гг. (маловодный), когда значение среднемноголетнего стока составило 185 мм/год (252 км³/год) при норме стока базового периода 257 км³/год. Эти интервалы сопровождаются спадом атмосферных осадков (628 и 646 мм/год при норме 665 мм/год) и ростом общего испарения (499 и 469 мм/год при норме базового периода 476 мм/год).

Анализ многолетних колебаний годового суммарного испарения за рассматриваемый базовый период (1891/1892-2020/2021 гг., n = 130 лет) показывает, что они колеблются близко к климатической норме, которая составляет 476 мм/год. Однако если рассматривать период межени, обнаруживается, что для него свойственна тенденция снижения (рис. 2в).

В процессе изменения бассейновых влагозапасов наблюдается следующая закономерность (рис. 1г, 2г). При половодье происходит аккумуляция, а во время межени – сработка. Это приводит к тому, что годовой баланс стремится к нулю. В начале XX в. бассейновые влагозапасы наращиваются от 30 мм/год (41 км³/год) до 163 мм/год (222 км³/год) и от 26 мм/год (35 км³/год) до 211 мм/год (289 км³/год) в последней четверти XX в. Следовательно, запасы воды, аккумулированные в половодье, участвуют в создании добавочного поверхностного стока и общего испарения в межень, тем самым увеличивая уровень естественной водообеспеченности (увлажненности) территории бассейна р. Волги.

Для оценки и прогноза суммарного притока бассейна р. Волги в зоне формирования у г. Волгограда были проанализированы временные ряды значений речного стока, атмосферных осадков и общего испарения (как сезонных, так и годовых) и установлено наличие тенденции, цикличности и однородности (неоднородности). Нестационарность процесса выражается в тенденциях, которые являются закономерными и отражаются на постоянном возрастании или снижении ЭВБ, либо амплитуды колебаний относительно их среднего значения. С помощью параметрических и непараметрических критериев (таких, как критерий Спирмена, И.И. Поляка и коэффициент корреляции между значениями ряда и порядковыми номерами его членов) можно обнаружить наличие тренда [5, 12].

В целях оценки статистической значимости линейного тренда исследуемых ЭВБ был использован метод, который основан на применении коэффициента корреляции и учитывает взаимосвязи показателей временного ряда (x_i) и их порядковых номеров (i). Определим коэффициент корреляции:

$$r_{x,i} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{(n-1)\sigma_x \sigma_i}, \quad (1)$$

где x_i – показатель элемента водного баланса; \bar{x} – среднемноголетнее значение элемента водного баланса; i – порядковый номер члена ряда; \bar{i} – среднеарифметическое значение порядковых номеров членов ряда; σ_x, σ_i – среднеквадратические отклонения; n – длина ряда.

В случае $r_{x,i} \leq 0,3$ статистическая связь между двумя рядами считается слабой; если $0,3 \leq r_{x,i} \leq 0,7$ – средней; в случае $r_{x,i} \geq 0,7$ – высокая степень статистической связи. Среднеквадратическое отклонение коэффициента корреляции находится по формуле:

$$\sigma_{r_{x,i}} = \frac{1 - r_{x,i}^2}{\sqrt{n-1}}. \quad (2)$$

Коэффициент достоверности:

$$K_D = \frac{r_{x,i}}{\sigma_{r_{x,i}}}. \quad (3)$$

В случае $r_{x,i} \geq 2\sigma_{r_{x,i}}$ и $K_D \geq 2$, если значение критерия находится в пределах 5% ($\alpha = 5\%$), можно говорить о том, что коэффициент корреляции достоверен, линейный тренд исследуемых ЭВБ статистически значим и отличается от нуля.

В таблице 3 представлены результаты расчетов по установлению наличия тренда ЭВБ бассейна р. Волги в зоне формирования до г. Волгограда. Результаты данных таблицы показывают, что при 5%-ном уровне значимости в динамике атмосферных осадков, как в период половодья и межени, так и за год в целом, сколько-нибудь явные тенденции не проявляются и характер колебаний скорее свидетельствует о стационарности рядов атмосферных осадков. Аналогичные условия стационарности обнаруживаются и в колебаниях бассейновых влагозапасов водосбора бассейна р. Волги. Во временных рядах стока половодья, межени и годового стока выявлена нестационарность.

Таким образом, линейный тренд, обнаруженный в многолетних колебаниях годовых и сезонных величинах речного стока, суммарного испарения и температуры приземного воздуха, является статистически значимым (с 95%-ным уровнем надежности) и отличается от нуля.

Таблица 3. Значения уравнений зависимости элементов водного баланса от времени (период 1914/1915-2020/2021 гг., n = 107 лет)

Table 3. Values of equations of dependence of water balance elements on time (period 1914/1915-2020/2021, n =107 years)

ЭВБ* EWB	Уравнение тренда Trend Equation	Среднее, мм/год Average mm/year	Параметры для оценки наличия тенденций (по коэффициентам корреляции и коэффициентам достоверности) Parameters for assessing trends availability (correlation coefficients and confidence coefficients)				
			R	σ_R	$2\sigma_R$	$K_D \geq 2$	Значимость тренда / Trend value
Период весеннего половодья / Periods of spring floods							
PB	$PB = 0,1084t + 331,82$	326	-0,07	0,10	0,20	0,7	Не значим / Not significant
RB	$RB = 0,1357t + 123,09$	116	-0,20	0,08	0,16	2,5	Значим / Significant
EB	$EB = 0,1093t + 106,31$	110	0,21	0,09	0,18	2,3	Значим / Significant
$\pm\Delta VB$	$\pm\Delta VB = 0,082t - 102,41$	-98	0,07	0,10	0,20	0,7	Не значим / Not significant
Период межени (летне-осенняя и зимняя) / Periods of low water (summer-autumn and winter)							
PM	$PM = 0,3255t + 350,54$	333	-0,17	0,10	0,20	1,7	Не значим / Not significant
RM	$RM = 0,3121t + 57,48$	75	0,45	0,09	0,18	6,0	Значим / Significant
EM	$EM = -0,9199t + 406,55$	360	-0,60	0,08	0,16	11	Значим / Significant
$\pm\Delta VM$	$\pm\Delta VM = -0,2002t + 11,07$	0,0	-0,12	0,11	0,22	1,0	Не значим / Not significant
Годовой период / Annual period							
РГ	$РГ = -0,4339t + 682,36$	660	-0,18	0,10	0,20	1,6	Не значим / Not significant
РГ	$РГ = 0,1764t + 180,57$	192	0,20	0,09	0,18	2,3	Значим / Significant
ЕГ	$ЕГ = 0,8106t + 512,86$	470	-0,55	0,09	0,18	8,0	Значим / Significant
$\pm\Delta VG$	$\pm\Delta VG = -0,2002t + 11,07$	0,0	-0,12	0,11	0,22	1,0	Не значим / Not significant
ТГ, °С	$ТГ = 0,0157t + 2,6185$	3,6	0,38	0,09	0,18	3,1	Значим / Significant
ТХ, °С	$ТХ = 0,0245t - 9,756$	-8,5	0,34	0,10	0,20	3,8	Значим / Significant
ТТ, °С	$ТТ = 0,0094t + 11,457$	13,0	0,26	0,10	0,20	4,4	Значим / Significant

*РГ – годовые осадки, РВ – осадки половодья, РМ – осадки межени; РГ – годовой речной сток, РВ – речной сток половодья, РМ – речной сток межени; ЕГ – годовое общее испарение, ЕВ – испарение половодья, ЕМ – испарение межени; $\pm\Delta VG$ – трансформация влагозапасов за год, $\pm\Delta VB$ – трансформация влагозапасов половодья, $\pm\Delta VM$ – трансформация влагозапасов межени; ТГ, °С, – годовая температура приземного слоя, ТХ, °С, – температура приземного воздуха холодного периода, ТТ, °С, – температура приземного воздуха теплого периода.

РГ – annual precipitation, РВ – precipitation of flooding, РМ – precipitation of low water; РГ – annual river flow, РВ – river flow of flooding, РМ – river flow of low water; ЕГ – annual total evaporation, ЕВ – evaporation of flooding, ЕМ – evaporation of low water; ЕГ – annual total evaporation, ЕВ – evaporation of flooding, ЕМ – evaporation of low water; $\pm\Delta VG$ – transformation of moisture reserves for a year, $\pm\Delta VB$ – transformation of moisture reserves of flooding, $\pm\Delta VM$ – transformation of moisture reserves of low water; ТГ, °С, – annual temperature of surface layer, ТХ, °С, – temperature of surface air of cold period, ТТ, °С, – temperature of surface air of warm period.

Исходя из данного факта, можно сделать вывод о том, что в течение многих лет в колебаниях таких водных элементов, как речной сток и общее испарение бассейна р. Волги, имеет место положительный, статистически значимый тренд. Это означает, что исследуемые ряды наблюдений не могут быть отнесены к стационарным.

Цикличность ЭВБ является следующим этапом исследования нестационарности ЭВБ. В исследуемом базовом периоде 1891/1892-2020/2021 гг. в многолетних колебаниях атмосферных осадков обнаруживаются два полных, достаточно длительных цикла, охватывающие 1911/1912-1940/1941 гг., n = 30 лет, и 1960/1961-1990/1991 гг., n = 30 лет. В колебаниях годовых атмосферных осадков выделяются два периода, в течение которых атмосферные осадки были ниже их базовых среднемноголетних

величин (665 мм/год). Первый из этих периодов охватывает 21 г. (с 1891/1892 по 1911/1912 гг.) со средними атмосферными осадками 660 мм/год. Второй период продолжался в течение достаточно длительного периода (с 1929/1930 по 1975/1976 гг., n = 47 лет) со средними атмосферными осадками 638 мм/год (на 4,1% меньше базовых среднемноголетних). Внутри этого периода имел место 12-летний подпериод с достаточно пониженными атмосферными осадками: с 1929/1930 по 1940/1941 гг. – со средними осадками 611 мм/год (на 8,1% меньше базовых). Одновременно можно выделить два периода с повышенными атмосферными осадками: 1912/1913-1928/1929 гг., n = 17 лет; 1976/1977-1990/1991 гг., n = 15 лет. Средние атмосферные осадки первого периода составляют 701 мм/год (на 5,4% выше базовых среднемноголетних), а осадки второго

периода – 717 мм/год (на 7,7% выше базовых среднемноголетних). В последнее тридцатилетие, с 1991/1992 по 2020/2021 гг., годовые атмосферные осадки колеблются вокруг базового среднемноголетнего, и средние атмосферные осадки этого периода составляют 664 мм/год.

Анализ разностной интегральной кривой годового стока р. Волги в зоне формирования до г. Волгограда позволяет в пределах рассматриваемого 130-летнего периода выделить два цикла полных колебаний водности, включающих в себя многоводную и маловодную ветви. Первый цикл колебания по водности – с 1881/1882 по 1929/1930 гг., $n = 39$ лет; второй цикл – с 1930/1931 по 2004/2005 гг., $n = 75$ лет. В 2005/2006 г., по всей видимости, начался третий цикл. Отклонение водности отдельных фаз от базового является таким: если в первом цикле сток многоводной его фазы превышал базовый среднемноголетний на 7,4%, то во втором цикле – на 10,6%; сток маловодной фазы первого цикла ниже базового среднемноголетнего был на 5,3%, а во втором цикле – на 6,3%. Среднемноголетний сток базового периода 1891/1892-2020/2021 гг., $n = 130$ лет, составляет 189 мм/год ($257 \text{ км}^3/\text{год}$).

Выделяется достаточно продолжительный цикл, включающий в себя длительный маловодный период: с 1930/1931 по 1977/1978 гг., $n = 48$ лет, со средним стоком 177 мм/год ($240 \text{ км}^3/\text{год}$) (на 6,6% меньше базового среднемноголетнего). С 1978/1979 по 2004/2005 гг., $n = 27$ лет, в бассейне р. Волги вновь наступила фаза роста водности со средним стоком 209 мм/год ($284 \text{ км}^3/\text{год}$) – на 10,6% выше базового среднемноголетнего. С 2005/2006 по 2020/2021 гг., $n = 15$ лет, в Волжском бассейне наблюдается снижение средней водности до 190 мм/год ($258 \text{ км}^3/\text{год}$), то есть рассматриваемый последний 15-летний средний сток Волжского бассейна снизился до базового среднемноголетнего стока.

Можно предположить, что с 2005/2006 г. начался третий цикл, и мы имеем дело с одним из длиннопериодических циклов изменения стока р. Волги в зоне формирования до г. Волгограда, причем, по-видимому, сначала он будет сопровождаться снижением притока речных вод в зоне формирования, а затем – его повышением. Если это действительно так, то можно выдвинуть гипотезу о том, что в 2005/2006 г. началась ветвь спада этого длиннопериодического цикла в колебаниях стока р. Волги.

Аналогичный цикл выделяется в динамике суммарного испарения с поверхности суши водосборов бассейна р. Волги. В то же время

он является зеркальным отражением циклов речной воды, так как фазы уменьшения речного стока совпадают с фазами увеличения суммарного испарения, а фазам роста речного стока соответствуют фазы снижения суммарного испарения. Следовательно, в отличие от атмосферных осадков и речного стока в динамике суммарного испарения наблюдаются противофазные направления. Такой же цикл повторяется и в динамике трансформации бассейновых влагозапасов. Сработка бассейновых влагозапасов происходит при спаде осадков и речного стока, а накопление – при росте осадков и речного стока. При этом накопление происходит в период половодья или паводков, а сработка – в период межени, в результате невязка годового баланса уменьшается и в идеале стремится к нулю.

В целом анализ разностных интегральных кривых ЭВБ бассейна р. Волги со всей очевидностью показывает, что снижение атмосферных осадков в начале и середине XX в. вызвало снижение притока речных вод в зоне формирования у г. Волгограда, и в целом – уменьшение притока речных вод в Каспийское море. Связь изменений уровня Каспийского моря проявляется через взаимосвязь притока речных вод в море.

Существует несколько основных допущений, которые при прогнозировании ЭВБ речного бассейна необходимо выполнить: такие, как однородность и неоднородность колебания ЭВБ, которые происходили в течение длительного периода. Оценка изменения ЭВБ осуществлялась с помощью статистических критериев Стьюдента и Фишера [12]. Чтобы оценить степень однородности (неоднородности) средних показателей и дисперсии рядов сезонных и годовых ЭВБ бассейна р. Волги в зоне формирования до г. Волгограда, использованы ряды продолжительностью с 1914/1915 по 2020/2021 гг., $n = 107$ лет.

В результате расчета выявлена неоднородность среднемноголетнего значения для годового стока, общего испарения и трансформации бассейновых влагозапасов. Среднемноголетние значения годовых величин атмосферных осадков оказались однородными. Среднемноголетнее значение речного стока за два выделенных периода (первый – 1914/1915-1975/1976 гг., второй – 1976/1977-2020/2021 гг.) составили 181 и 202 мм/год, для общего испарения – 491 и 438 мм/год, для трансформации бассейновых влагозапасов – 14 и 19 мм/год соответственно. Во всех этих случаях расчетные значения t -критерия Стьюдента оказались больше, чем критическое значение: $3,23 > 1,66$; $6,54 > 1,66$; $2,96 > 1,66$ соответственно при уровне значимости

критерия $\alpha = 5\%$. Следовательно, среднемноголетние значения годовой величины стока, общего испарения и трансформации бассейновых влагозапасов являются неоднородными.

В отличие от годовых значений некая «пестрая» картина наблюдается в период весеннего половодья и межени. Все среднемноголетние значения ЭВБ в период половодья оказались однородными. Однородными также оказались атмосферные осадки меженного периода, а такие составляющие, как среднемноголетнее значение речного стока, общее испарение и трансформация бассейновых влагозапасов для меженного периода, оказались неоднородными. Применительно к дисперсиям всех рассмотренных ЭВБ для выделенных периодов свойственна однородность дисперсий. Следовательно, для колебаний ЭВБ бассейна р. Волги в XX в. характерна неоднородность по их среднемноголетнему значению, за исключением атмосферных осадков. В то же время их дисперсии за XX в. почти не изменились в отличие от среднемноголетнего значения и оказались однородными.

Выводы

1. Проведенный сопряженный анализ, направленный на изучение изменчивости ЭВБ бассейна р. Волги, позволил сделать следующие выводы. Наиболее вероятной предпосылкой образования маловодья в бассейне р. Волги является соотношение температуры и влаги, при котором спад осадков соответствует росту общего испарения воды с поверхности водосборов. Можно также отметить следующую закономерность: период повышенной водности совпадает с периодом увеличения осадков и уменьшения общего испарения. Альтернативой являются условия, когда период

сниженной водности совпадает с периодом спада осадков и увеличения общего испарения. Поэтому можно сделать вывод о том, что изменчивости ЭВБ за длительный период годового стока р. Волги свойственна цикличность, отличающая его от «белого шума».

2. Ретроспективный анализ изменения ЭВБ показывает, что среднемноголетним значениям годового и меженного стоков свойствен возрастание тренд, тогда как в период половодья обнаруживается тенденция уменьшения. Причинами возрастания нормы годового стока и стока меженного периода являются увеличение атмосферных осадков и повышение температуры приземного слоя воздуха, особенно в зимний период.

3. Анализ изменения среднегодовой температуры приземного воздуха бассейна р. Волги за период 1901/1902-2020/2021 гг. показал, что приращение линейного тренда температуры приземного воздуха составляет для года в целом $1,9^{\circ}\text{C}/120$ лет, для холодного периода – $(-2,9)^{\circ}\text{C}/120$ лет. Обнаружены устойчивые тенденции (тренды) возрастания среднемноголетней величины температуры приземного слоя воздуха. Потепление наиболее ярко выражено в холодные полугодия, в то время как в теплые периоды года наблюдается незначительное похолодание. Установлено отсутствие коррелятивной связи между речным стоком, суммарным испарением и температурой приземного воздуха: $-0,13$ и $0,12$ соответственно. Это объясняется сложной пространственной неоднородностью изменения годовой и сезонной температуры приземного воздуха и недоучетом влияния подстилающей поверхности, то есть влияния ландшафтов, в пределах которых и формируются составляющие водного баланса.

Список использованных источников

1. Бэйтес Б.К., Кундцевич З.В., Саохон У., Палютикоф Ж.П. Изменение климата и водные ресурсы. Технический проект Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Женева: 2008. 228 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 60 с.
3. Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. Монография. М.: МАКС ПРЕСС, 2008. 292 с.
4. Исмайлов Г.Х., Мурашенкова Н.В. Оценка изменения и взаимосвязи элементов водного баланса бассейна р. Волги в условиях изменения климата // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 5. С. 4-7.

References

1. Bates B.K., Kundtsevich Z.V., Saohon U., Paljutikof J.P. (eds.) Climate change and water resources. Technical design. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, 2008. 228 p.
2. Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences in the Russian Federation. General summary. Moscow, Roshydromet Publ., 2014. 60 p.
3. Kislov A.V. Forecast of climatic resource provision of the East European Plain in the conditions of flooding of the XXI century] / Evstigneev V.M., Malkhazova S.M. et al. Moscow, MAKS PRESS PUBL., 2008. 292 p.
4. Ismayilov G.Kh., Murashchenkova N.V. Assessment of changes and interrelations of water balance elements in the Volga river basin under climate change // Water Management in Russia: problems, technologies, management. 2015. № 5. P. 4-7.
5. Water Resources of Russia and their use: monograph // Ed. by I.A. Shiklomanov. St. Petersburg, GGU Publ., 2008. 600 p.

5. Водные ресурсы России и их использование: монография / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГУ, 2008. 600 с.

6. **Бабкин В.И., Смирнов Н.П.** Динамика стока рек Центрального района России // Метеорология и гидрология. 2007. № 9. С. 80-83.

7. **Исмайылов Г.Х., Федоров В.М.** Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса р. Волги // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 3. С. 259-276.

8. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В., Исмайылова И.Г.** Методика оценки сложноформируемых элементов водного баланса (суммарного испарения и влагозапасов) речного бассейна // Природообустройство. 2020. № 5. С. 88-95.

9. **Исмайылова И.Г.** Моделирование элементов водного баланса р. Волги для создания информационно-аналитической гидрометеорологической базы данных. Уфа: Вестник науки, 2023. С. 23-38.

10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: РОСГИДРОМЕТ, 2023. 104 с. ISBN 978-5-906099-58-7

11. **Кислов А.В., Торопов П.А.** Моделирование климатических условий Восточно-Европейской равнины и вариации стока р. Волги в эпоху позднелейстоценового похолодания // Вестник Московского университета. Серия 5 «География». 2006. № 2. С. 13-17.

12. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. СПб.: Нестор-история, 2010. 160 с.

Об авторе

Ирина Габилевна Исмайылова, заведующая лабораторией кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; igism37@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Исмайылова И.Г. выполнила 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 28.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 16.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 16.02.2024

6. **Babkin V.I., Smirnov N.P.** Dynamics of river flow in the Central District of Russia. // Meteorology and hydrology. 2007. № 9. P. 80-83.

7. **Ismaiyllov G.Kh., Fedorov V.M.** Interannual variability and interconnection of elements of the water balance of the Volga River] // Water resources, 2008. V. 35. No 3. P. 259-276.

8. **Ismaiyllov G.Kh., Murashchenkova N.V., Ismaiyllova I.G.** Methodology for assessing the complexly formed elements of the water balance (total evaporation and moisture reserves) of the river basin // Prirodoobustroystvo. 2020. № 5. P. 88-95.

9. **Ismaiyllova I.G.** Modeling of the Volga River water balance elements for the creation of information and analytical hydro meteorological databases. Ufa: Publishing house NITS Bulletin of Science, 2023. P. 23-38.

10. Report on climate features in the Russian Federation for 2022. Moscow, ROSHYDROMET Publ., 2023.104 p. ISBN 978-5-906099-58-7

11. **Kislov A.V., Toropov P.A.** Modeling of climate conditions of the East European Plain and variations of the flow of the Volga River in the epoch of the late Pleistocene cooling. // Vestnik of the Moscow University. Series 5. Geography, 2006. No 2. P. 13-17.

12. Methodological recommendations for the assessment of the homogeneity of hydrological characteristics and the determination of their calculated values based on heterogeneous data. St. Petersburg, Nestor-Istoriia Publ., 2010.160 p.

Author information

Irina G. Ismaiyllova, head of the laboratory of the department of Hydraulics, hydrology and water resources management; igism37@mail.ru

I.G. Ismaiyllova performed theoretical research, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript, she has copyright on the article and is responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-79-82>

УДК 556.5: 551.577: 551.432



К ВОПРОСУ ВЫЧИСЛЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ОБЪЕМА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ВОДЫ, ГИДРОПОТЕНЦИАЛА ПРЕДГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ

Х.Г. Асадов[✉], Е.Д. Сулейманова, Р.А. Ахмедова

Национальное Аэрокосмическое Агентство; г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. В статье рассматривается анализ соотношения объема поверхностного стока, гидропотенциала предгорного ландшафта и общего количества осадков. Проведен критический анализ по известной методике определения количественной оценки поверхностного стока при заданных величинах показателей суммарного осадка и гидрологического потенциала местности ландшафта. Цель работы – выявление двусмысленности получаемых результатов по известной методике и разработка графоаналитического метода вычисления основных показателей гидрорежима предгорного ландшафта. В качестве базового был использован известный метод *CN* кривых, используемый для вычисления поверхностного стока в предгорных бассейнах ландшафтов. Разработан графоаналитический метод для вычисления требуемого количества осадков при заданных значениях показателей гидрологического удержания. Предлагаемый метод может быть использован при гидрологических расчетах в целях прогнозирования ожидаемого поверхностного стока участков предгорного ландшафта.

Ключевые слова: поверхностный сток, гидропотенциал, суммарные осадки, предгорный ландшафт, оптимизация

Формат цитирования: Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Д., Ахмедова Р.А. К вопросу вычисления соотношения объема поверхностного стока воды, гидропотенциала предгорных территорий и общего количества осадков // Природообустройство. 2024. № 2. С. 79-82. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-79-82>

Original article

ON THE QUESTION OF CALCULATING THE RATIO OF THE VOLUME OF SURFACE WATER RUNOFF, THE HYDRO POTENTIAL OF FOOTHILL AREAS AND THE TOTAL AMOUNT OF PRECIPITATION

H.H. Asadov[✉], E.D. Suleymanova, R.A. Akhmedova

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract. The article is devoted to the analysis of the ratio of the volume of surface runoff, the hydro potential of the foothill landscape and the total amount of precipitation. A critical analysis was carried out using a well-known method for determining the quantitative assessment of surface runoff at given values of total precipitation and hydrological potential of the terrain of the landscape. **The purpose** of this work is to identify the ambiguity of the results obtained using a well-known technique and to develop a graph-analytical method for calculating the main indicators of the hydro regime of the foothill landscape. *Research methods.* The well-known CN curve method used to calculate surface runoff in foothill basins of landscapes is used as a base method. *The results obtained.* A graph-analytical method has been developed to calculate the required amount of precipitation for given values of hydrological retention indicators. *Conclusions.* The proposed method can be used in hydrological calculations in order to predict the expected surface runoff of areas of the foothill landscape.

Keywords: surface runoff, hydro potential, total precipitation, foothill landscape, optimization

Format of citation: Asadov H.H., Suleymanova E.D., Akhmedova R.A. On the issue of calculating the ratio of the volume of surface water runoff, the hydro potential of foothill territories and the total amount of precipitation // Prirodoobustrojstvo, 2024. No. 2. P. 79-82. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-79-82>

Введение. Хорошо известно, что в практике интегрированного управления поверхностным стоком в бассейне предгорных рек широко используется моделирование поверхностного стока при помощи коэффициентов кривых поверхностного стока [1-7]. Метод коэффициента

кривых поверхностного стока, или CN кривой, в котором используется эмпирический параметр для прогнозирования прямого затопления, был разработан Службой консервации сельскохозяйственных природных ресурсов США (USDA) [8, 9].

Как отмечается [10], при использовании CN кривых для вычисления объема вод поверхностного стока следует учесть не только гидрологическое состояние территории, но и состояние землепользования. Коэффициент CN изменяется в пределах от 0 до 100. Максимальная величина 100 соответствует тому случаю, когда вся дождевая вода или вся вода речного бассейна уходит в поверхностный сток. Минимальная величина 0 (ноль) соответствует тому случаю, когда вся дождевая вода фильтруется в почву.

Коэффициент CN охватывает такие показатели, как гидрологическая группа почвы, структура ландшафта, гидрологические характеристики методов культивации земли, гидрологические характеристики влагосодержания почвы и др. При использовании коэффициента CN вычисляется показатель потенциального удержания воды A . В свою очередь, показатель A используется для вычисления как прямого поверхностного стока, так и объема паводковой воды [11]. Для вычисления показателя A используется формула:

$$A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right). \quad (1)$$

Предложенный метод кривых паводка [10] разработан в предположении того, что отношение объема воды поверхностного стока к объему общих дождевых вод равно отношению всего объема, собранного в течение поверхностного стока, к потенциально возможному объему вод, который может быть собран. Затопление начинается после процессов удержания и инфильтрации воды землей. Эти процессы оценены [11, 12] на уровне $0,2A$, где A – показатель потенциального удержания воды. Объем вод прямого затопления [9] вычислен по формуле:

$$H_0 = \frac{[H_s - 0,2A]^2}{H_s + 0,8A}, \quad (2)$$

где $H_s \geq 0,2A$; H_0 – показатель прямого затопления; H_s – общее количество осадков; A – потенциальное удержание воды.

Цель исследований: выявление двузначности получаемых результатов по формуле (2), выявление дополнительных условий для применения этой формулы и разработка графоаналитического метода вычисления показателя H_s на основе вновь выявленных соотношений между показателями H_s , A и H_0 .

Материалы и методы исследований. Для выявления двузначности результата

по формуле (2) и вычисления объема затопления преобразуем формулу (2):

$$H_s^2 - 2H_s \cdot 0,2A + 0,04A^2 = H_0H_s + 0,8A \cdot H_0. \quad (3)$$

Выражение (3) может быть приведено в вид квадратного уравнения:

$$H_s^2 - H_s(0,4A + H_0) + 0,04A^2 - 0,8H_0A = 0. \quad (4)$$

Решение квадратного уравнения (4) имеет вид:

$$H_{s1,2} = \left(0,2A + \frac{H_0}{2} \right) \pm \sqrt{\left(0,2A + \frac{H_0}{2} \right)^2 - 0,04A^2 - 0,8H_0A}. \quad (5)$$

Из выражения (5) становится очевидным то, что верность формулы (2) может быть обеспечена при условии

$$\left(0,2A + \frac{H_0}{2} \right)^2 > 0,04A^2 + 0,8H_0A. \quad (6)$$

Из выражения (6) находим

$$0,04A^2 + 0,8AH_0 + \frac{H_0^2}{4} > 0,04A^2 + 0,8AH_0, \quad (7)$$

$$\text{или } \frac{H_0^2}{4} > 0.$$

С учетом (5)-(7) получаем

$$H_{s1,2} = 0,2A + \frac{H_0}{2} \pm \frac{H_0}{2} \quad (8)$$

или

$$H_{s1} = 0,2A + H_0; \quad (9)$$

$$H_{s1} = 0,2A. \quad (10)$$

Следовательно, при решении (9) требуемый объем осадков равен сумме $0,2$ части потенциального удержания и вод прямого затопления. Решение (10) соответствует случаю отсутствия затопления, то есть $H_0 = 0$.

Очевидно, что условие (10) следует из выражения (2) при $H_0 = 0$.

Проанализируем другие крайние условия, вытекающие из формулы (2).

1. При $A = 0$ имеем

$$H_0 = H_s, \quad (11)$$

то есть показатель прямого затопления равен общему количеству осадков.

2. При $H_s = 0,2A$ получаем

$$H_0 = 0.$$

Трехмерный график показателей H_s , A и H_0 представлен на рисунке 1.

На основе графического представления взаимоотношения показателей H_s , A и H_0

предлагается графоаналитический метод вычисления требуемого общего количества осадков при заданных величинах A и H_0 .

Предлагаемый метод выполняется из следующих шагов:

1. На плоскости (H_s, A) вычерчиваются линии линейной зависимости $H = kA$, где $k = 0,2 \pm 0,1n$; $n = 1, 8$.

2. На плоскости (H_s, H_0) вычерчивается линия $H_0 = H_s$.

3. Вычисление H_s осуществляется по формуле (9) путем графического сложения отрезков линий, соответствующих заданным значениям kA и H_0 .

Пример реализации предлагаемого графоаналитического метода показан на рисунке 2.

Исходно заданными являются:

1. Соотношение $H_s = 0,5A$.
2. Значения H_{01} и A_0 .
3. Вычисленные выражения (9) и (11).

Процедура графоаналитического построения заключается в следующем.

1) на оси A обозначается заданная величина A_0 ;

2) используя линию $H_s = kA$, соответствующую заданной величине $k = 0,5$ на оси H_s , определяют точку проекцию точки L_1 на оси H_s ;

3) на оси H_0 отмечается заданная величина H_{01} ;

4) используя линию $H_0 = H_s$ на плоскости (H_0, H_s) , определяют точку L_2 и ее проекцию на оси H_s в виде точки H_{s2} ;

5) суммирование линейных отрезков $(0-H_{s1})$ и $(0-H_{s2})$ осуществляется согласно полученному выражению (9). Результирующий линейный отрезок $(0-H_{s3})$ равен отрезку $(0-H_{s3})$.

Рассмотрим вариант реализации предложенного графоаналитического метода при замене координаты A на показатель CN . Из выражения (1) находим

$$10 + \frac{A}{25,4} = \frac{1000}{CN}. \quad (12)$$

Из выражения (12) получаем

$$CN = \frac{25400}{254 - A}. \quad (13)$$

Таким образом, согласно (13) между CN и A существует нелинейная зависимость. Как результат, номограммные линии, показанные на плоскости (H_s, A) (рис. 2), превращаются в нелинейные кривые. Условный пример реализации этого метода представлен на рисунке 3.

Отметим, что функциональные зависимости $\varphi(CN, k)$, показанные на рисунке 3, формируются на основе выражений (10) и (13).

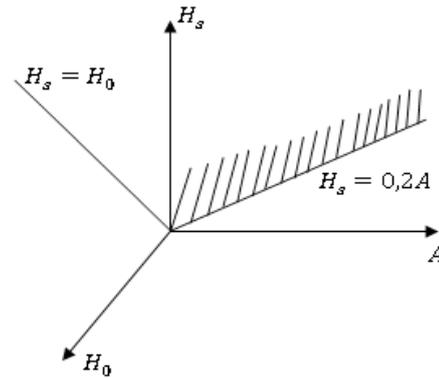


Рис. 1. Трехмерный график представления показателей H_s, A и H_0

Fig. 1. 3D graph of presentation of indicators H_s, A and H_0

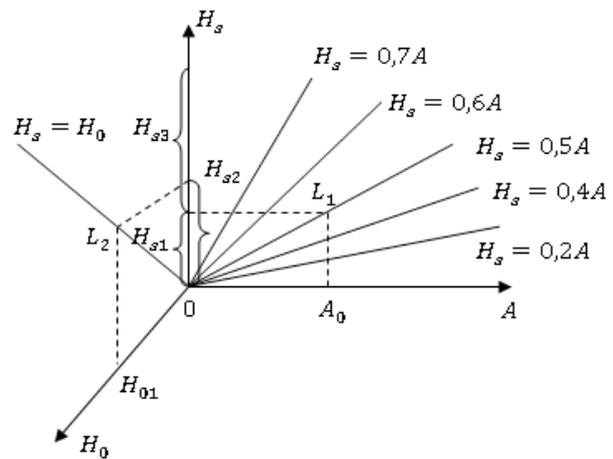


Рис. 2. Пример графоаналитического вычисления показателя H_s при заданных H_{01}, A_0 и k

Fig. 2. The example of the graph-analytical calculation of the indicator H_s at the given H_{01}, A_0 and k

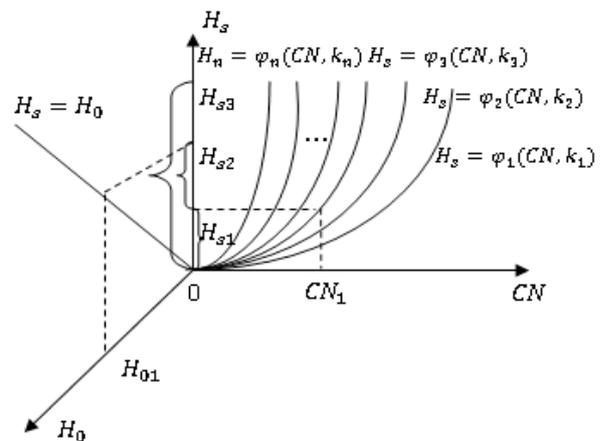


Рис. 3. Условный пример реализации предлагаемого графоаналитического метода вычисления объема осадков при заданных значениях H_{01} и CN_1

Fig. 3. The conditional example of implementation of the proposed method of the graph-analytical calculation method of precipitation volume at the given values H_{01} and CN_1

С учетом $H_s = kA$ получим

$$A = \frac{H_s}{k}. \quad (14)$$

Из выражений (13) и (14) получим

$$CN = \frac{25400}{254 - \frac{H_s}{k}} = \frac{25400k}{254k - H_s} = \varphi(k). \quad (15)$$

Таким образом, задавая значениями k_i , можно вычислить функции $H_s = \varphi(CN, k_i)$, представленные на рисунке 3.

Результаты и их обсуждение. Изложен критический подход к известной методике определения количественной оценки поверхностного стока при заданных величинах показателей суммарного осадка и гидрологического потенциала местности ландшафта. На базе известного выражения получено квадратное уравнение,

решение которого позволило разработать графоаналитический метод определения необходимой величины суммарных осадков при заданных значениях других учитываемых показателей. Предлагаемый графоаналитический метод может быть реализован в трехмерных пространствах (H_s, H_0, A) и (H_s, H_0, CN) .

Выводы

На основе известного метода CN кривых, используемого для вычисления поверхностного стока в предгорных бассейнах ландшафтов, разработан графоаналитический метод для вычисления требуемого количества осадков при заданных значениях показателей гидрологического удержания. Предложенный метод может быть использован при проведении гидрологических расчетов в целях прогноза ожидаемого поверхностного стока участков предгорного ландшафта.

Список использованных источников / References

1. Huang W.S.C., You L.W., Tung Y.K., Yoo C.S. Assessing curve number uncertainty for green roofs in a stochastic environment // The 4th international conference on water resource and environment (WRE2018).
2. Ibrahim S., Brasi B., Yu Q., Siddig M. Curve number estimation using rainfall and runoff data from five catchments in Sudan // Open Geosciences. 2022. № 14. Pp. 294-303.
3. Vinithra R., Yeshodha L. Rainfall-runoff modelling using SCS-CN method: a case study of Krishnagiri district, Tamilnadu // International Journal of science and research. 2016. Vol. 5. Iss. 3.
4. Jajarmizadeh M., Harun S., Shahid S., Akib S., Salarpour M. Impact of direct soil moisture and revised soil moisture index methods on hydrologic predictions in an arid climate // Hindawi publishing corporation advances in meteorology. 2014.
5. Soulis K.X. Soil conservation service curve number (SCS-CN) method: current applications, remaining challenges, and future perspectives // Water 2021. № 13. P. 192. <https://doi.org/10.3390/w13020192>.
6. Rao K.B., Singh D.K., Bhattacharya A.K. Applicability of Curve Number method for estimation from extended duration rainfall // Journal of Soil and Water Conservation. 2002. № 1 (2-3). Pp. 163-170.
7. Shi Z.H., Chen L.D., Fang N.F., Qin D.F., Cai C.F. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. Catena. 2009. № 77 (1). Pp. 1-7.
8. Ward D.A., Trimble W.S. Environmental Hydrology // Lewis Publisher. 2004.
9. Shirmohamadi A., Yoon K.S., Rawls W.J., Smith O.H. Evaluation of Curve Number procedure to predict runoff in GLEAMS // Journal of American Water Resource Association. 1997. № 33 (5). Pp. 1069-1076.
10. Petrovic F., Stranovsky P., Muchova Z., Faltan V., Skokanova H., Havlicek M., Gabor M., Spulero J. Landscape-ecological optimization of hydric potential in foothills region with dispersed settlements – a case study of Nova Bosaca, Slovakia // Applied ecology and environmental research. 2017. № 15 (1). Pp. 379-400.
11. Gajdosik P., Sulik V., Trizna M. Vplyv zmeny priestorovej struktury krajiny na odtok vody z povodia (in Slovak) // Geograficke spektrum 4. Bratislava, Geo-grafika, 2005.
12. Simanton J.R., Hawkins R.H., Mohseni-Saravi M., Renard K.C. Runoff curve number variation with drainage area, Walnut Gultch, Arizona. Transaction of the ASAE. 1996. № 39 (4). Pp. 1391-1394.

Об авторах

Хикмет Гамид оглы Асадов, д-р техн. наук, профессор; ORCID0000-0003-1180-1535; asadzade@rambler.ru

Егане Джалал гызы Сулейманова, канд. техн. наук, зам. директора по научной работе ОКБ Космического приборостроения

Рена Афрас гызы Ахмедова, старший инженер

Author information

Hikmet H. ogly Asadov, DSc (Eng), professor: ORCID0000-0003-1180-1535; asadzade@rambler.ru

Egane D. gyzy Suleymanova, CSc (Eng), Deputy director on scientific work of OCB of aerospace instrumentation engineering

Rena A. gyzy Akhmedova, senior engineer

Критерии авторства / Criteria of authorship

Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Д., Ахмедова Р.А. 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 interest

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 28.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review vised 18.01.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 18.01.2024

H.H. Asadov, E.D. Suleymanova, R.A. Akhmedova 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/10.26897/1997-6011-2024-2-83-89>

УДК 551.311:623.746. –519: 556



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЕПРОЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

А.Х. Шерхов , З.Ж. Гергокова, А.Р. Акаев

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»; 360030, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, пр. Ленина, 2, Россия

Аннотация. В рамках разработки совершенствования методов комплексного мониторинга опасных русловых и склоновых процессов авторами отработывались варианты использования беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и профильного программного обеспечения в целях повышения качества материалов натурных обследований селеопасных участков. Достоверность количественного определения параметров селепроявлений является актуальной проблемой при оценке пространственно-временных изменений параметров селевых русел. Цель работы – количественная оценка динамики изменений ландшафта селеопасных территорий, подверженных негативному воздействию, путем определения количественных значений морфометрических параметров селевого русла и прилегающей территории до прохождения селевого потока и после него. В частности, определялись объемы унесенного потоком грунта, а также объемы наносов на разных участках транзита села. Путем сопоставительного анализа результатов программной обработки материалов съемки квадрокоптером проблемных зон селевого русла были получены значения объемов унесенного грунта (4376 м³ на участке разрушения потоком автодороги) и селевых отложений (выше – 4623 м³, и ниже – 1788 м³ автодорожного моста). Подобная информационная основа незаменима в решении задач обеспечения безопасности населенных пунктов и объектов экономики от негативного воздействия селевых потоков.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, наносоводный поток, сель, ортофотоплан, морфометрические параметры, объем наносов, ландшафт, мониторинг

Формат цитирования: Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж., Акаев А.Р. Определение количественных значений параметров селепроявлений с использованием БПЛА // Природообустройство. 2024. № 2. С. 83-89. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-83-89>

Original article

DETERMINATION OF QUANTITATIVE VALUES OF MUDFLOWS PARAMETERS USING UAVS

A.H. Sherkhov , Z.Z. Gergokova, A.R. Akaev

Federal State Budgetary Institution "Vysokogorny Geophysical Institute", 2, Lenin Ave., Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, 360030, Russia

Abstract. As part of the development of improving methods for integrated monitoring of dangerous riverbed and slope processes, the authors worked out options for using an unmanned aerial vehicle (UAV) and specialized software in order to improve the quality of materials for field surveys of mudslide sites. The reliability of the quantitative determination of the parameters of mudflows is an urgent problem in assessing the spatial and temporal changes in the parameters of mudflow channels. The purpose of this work is to quantify the dynamics of changes in the landscape of residential areas exposed to negative impacts by determining the quantitative values of morphometric parameters of the mudflow channel and the adjacent territory before and after the passage of the mudflow. In particular, the volumes of soil carried away by the flow, as well as the volume of sediments in different sections of the mudflow transit, were determined. By comparative analysis of the results of software processing of materials from the removal of problem areas of the mudflow channel by a quadcopter, the values of the volumes of carried away soil (4376 m³, at the site of destruction by the flow of the highway) and mudflow deposits (above – 4623 m³, and below – 1788 m³ of the highway bridge) were obtained. Such an information base is indispensable in solving the problems of ensuring the safety of settlements and economic facilities from the negative impact of mudflows.

Keywords: unmanned aerial vehicle, sediment flow, mudflow, orthophotomap, morphometric parameters, sediment volume, landscape, monitoring

Format of citation: Sherkhov A.H., Gergokova Z.Zh., Akaev A.R. Determination of quantitative values of the mudflows parameters using UAVs // Prirodoobustrojstvo, 2024. No. 2. P. 83-89. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-83-89>

Введение. Наиболее перспективными составляющими комплексного мониторинга природных процессов в мировой практике на сегодняшний день являются космический мониторинг на основе анализа разновременных космоснимков и аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1-3].

Данные обработки космоснимков территории со средним, высоким и сверхвысоким разрешением, полученные с частотой 1-5 дней, позволяют отслеживать динамику пространственно-временных изменений с высокой точностью [4, 5]. Однако получить снимки необходимого разрешения и частоты зачастую непросто, а порой и невозможно. Наиболее соответствующим дополнением источников получения данных в нашем случае является аэрофотосъемка с применением БПЛА. Высокоточная съемка ландшафта исследуемого участка поверхности позволяет получить созданное на основе перекрывающихся снимков с БПЛА цифровое ортотрансформированное изображение местности – ортофотоплан. Подобные цифровые изображения местности с точной привязкой объектов в заданной системе координат лишены искажений и могут быть выполнены с высоким пространственным разрешением. Таким образом, достигается уровень детализации, достаточный для проведения сопоставительного анализа разновременных снимков, в том числе космических, с целью получения максимально достоверных данных о текущей динамике развития опасных склоновых и русловых процессов [6-9].

Цель исследований: количественная оценка динамики изменений ландшафта селитебных территорий, подверженных негативному воздействию, путем определения количественных значений морфометрических параметров селевого русла и прилегающей территории до прохождения селевого потока и после него.

В статье рассматривается возможность выявления при помощи современных технических средств разницы численных значений морфометрических параметров, зафиксированных в разные промежутки времени, на исследуемом участке территории. Сопоставление и анализ полученных данных позволяют с высокой точностью оценить динамику пространственно-временных изменений ландшафта выбранного участка. Научная новизна работы обосновывается с учетом того, что приведенные результаты эмпирически

проверяемы и воспроизводимы авторским вариантом анализа объемов наносов селевого потока по визуальным дешифровочным признакам.

Материалы и методы исследований. 29 и 31 мая 2023 г. по руслу реки Нальчик в районе н.п. Хасанья, в пригороде г. Нальчик, по причине интенсивных и продолжительных ливневых осадков прошли мощные наносоводные селевые потоки низкой плотности (порядка 1100-1500 кг/м³) [10], срывающие крупнообломочный русловый материал и переносившие за счет своей транспортирующей способности большое количество взвешенных наносов. Последствия их прохождения были засняты с помощью БПЛА соответственно 30 мая и 1 июня 2023 г. В обоих случаях съемка производилась по одинаковому маршруту, примерно в 12 часов дня, при практически одинаковом уровне воды в реке. Высота полета на разных участках реки имела разную высоту относительно места взлета, но относительно точек фотографирования съемка производилась в пределах высот от 60 до 70 м.

Съемка производилась БПЛА «DJI Mavic Air 2» со следующими техническими характеристиками:

- взлетная масса – 570 г;
- максимальная относительная высота полета – 500 м, над уровнем моря – 5000 м;
- максимальное расстояние полета – 18500 м. В силу особенностей условий применения данного БПЛА в высокогорье дальность полета ограничена, в нашем случае – около 4000 м;
- используемые спутниковые системы – GPS и ГЛОНАСС;
- специализированное приложение управления дроном и съемкой – DJIFlyv 1.9.4;
- максимальное разрешение фото – 48 Мп, 8000 × 6000.

Для обработки материалов натурных съемок, построения ортофотопланов и пр. использовано программное обеспечение Agisoft Metashape Professional 2.1.1, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии [11, 12].

Разрабатываемая и описываемая методика проведения исследований и обработки полученных материалов на данном этапе не унифицировалась с какими-либо нормативными и/или техническими документами.

Решение задачи по выявлению и оценке численных значений пространственно-временных изменений морфометрических параметров

исследуемых участков ландшафта реализуется в несколько этапов.

В первую очередь проводятся рекогносцировочные обследования объекта с использованием БПЛА. Начальное обследование – для получения исходных данных о состоянии объекта мониторинга, и далее – все последующие по прошествии определенного времени и/или события, с целью выявления произошедших изменений. Особенностью аэрофотосъемки в целях обеспечения максимальной точности получаемых данных является использование опорных GPS координат и рекомендованное перекрытие кадров съемки по ходу движения БПЛА: продольное – 80%, поперечное – 60%.

Данные проведенного обследования загружаются на компьютер с целью их дальнейшей обработки. Полученные материалы в зависимости от специфики поставленной задачи могут использоваться в различных специализированных программах и картографических сервисах [13, 14].

В процессе обработки данных в указанной программе производится выравнивание камер: координатное, пространственное позиционирование аэрофотоснимков. Строятся связующие точки (в нашем случае – порядка 234000), объединяющие значительный объем фотоматериала в цельное изображение для проектов (до события и после него) исследуемой территории.

Следующий этап обработки снимков – создание плотного облака точек с использованием результатов фототриангуляции и полуглобального метода отождествления соответствующих точек. Для этого проекта было построено облако из более чем 104 млн точек. Полученные таким образом данные в дальнейшем применены для

создания ортофотопланов исследуемой территории. Последние в свою очередь дают возможность с высокой точностью географически позиционировать объект съемки и достаточно достоверно определять количественные характеристики морфометрических параметров объекта до события и после него или через определенный промежуток времени.

Результаты и их обсуждение. На построенных ортофотопланах были выбраны 3 сектора (полигона) русла реки с наиболее выраженными ландшафтными изменениями, характеризующиеся очевидными предпосылками возникновения чрезвычайных ситуаций. Участки выше и ниже автодорожного моста, соединяющего н.п. Хасанья и г. Нальчик, а также участок русла с прилегающей к нему объездной автодорогой, разрушенный наносоводным селевым потоком 31 мая 2023 г., расположенный в 610 м от моста выше по течению.

На основе полученных данных на каждом из выбранных участков определялся объем отложений наносов в русле, или в случае разрушения автодороги – объем унесенного материала. Базовой плоскостью, выше и ниже которой рассчитывается объем в программе, определена аппроксимирующая плоскость. В качестве ее границы была выбрана береговая линия, за пределы которой селевой поток не выходил и ландшафтные изменения не происходили.

На рисунке 1 представлены космоснимок и секторы ортофотопланов участка разрушения автодороги селевым потоком (полигоны 1 и 1.1), расположенные в хронологическом порядке.

Результаты автоматизированных расчетов объема представлены в таблице 1.



Рис. 1. Участок разрушения объездной автодороги селевым потоком:
а – космоснимок (фото Sentinel-2, 24.04.2023 г.); б – полигон 1 (съемка 30.05.2023 г.);
в – полигон 1.1 (съемка 01.06.2023 г.)

Fig. 1. Mudflow destruction section of the bypass road:
a – satellite image (photo Sentinel-2, 04/24/23), b – polygon 1 (survey 05/30/2023), c – polygon 1.1 (survey 06/01/2023)

Разница значений объема ниже аппроксимирующей плоскости отражает объем грунта, вынесенного потоком 31 мая 2023 г. на участке разрушения автодороги, и составляет 4376,4 м³.

На рисунке 2 представлены космоснимок и секторы ортофотопланов участка, прилегающего к автодорожному мосту выше по течению (полигоны 2 и 2.1), расположенные в хронологическом порядке.

Результаты автоматизированных расчетов объема представлены в таблице 2.

Разница значений объема ниже аппроксимирующей плоскости отражает объем наносов, оставленных потоком 31 мая 2023 г. на данном участке, и составляет 4623,3 м³.

На рисунке 3 представлены космоснимок и секторы ортофотопланов участка, прилегающего к автодорожному мосту ниже по течению (полигоны 3 и 3.1), расположенные в хронологическом порядке.

Результаты автоматизированных расчетов объема представлены в таблице 3.

Разница значений объема ниже аппроксимирующей плоскости отражает объем наносов, оставленных потоком 31 мая 2023 г. на данном участке, и составляет 1788,7 м³.

Наряду с такими очевидными преимуществами БПЛА, как относительная доступность, возможность оперативного получения актуальных данных, высокая точность съемки, позиционирование в глобальной системе координат

Таблица 1. Рассчитанные морфометрические параметры участка разрушения селевым потоком автодороги (полигоны 1 и 1.1)

Table 1. Calculated morphometric parameters of the mudflow destruction section (polygons 1 and 1.1)

Полигон № <i>Polygon</i>	Периметр (м) <i>Perimeter (m)</i>	Площадь (м ²) <i>Area (m²)</i>	Объем (м ³) / <i>Volume (m³)</i>	
			Выше / <i>Above</i>	Ниже / <i>Below</i>
1	544.580	13316.3	6010.3	17807.7
1.1	544.580	13316.3	3207.5	22184.1



Рис. 2. Участок, прилегающий к автодорожному мосту выше по течению:
а – космоснимок (фото Sentinel-2, 24.04.2023 г.); б – полигон 2 (съемка 30.05.2023 г.);
в – полигон 2.1 (съемка 01.06.2023 г.)

Fig. 2. The section adjacent to the road bridge upstream:

a – satellite image (photo by Sentinel-2, 04/24/23), b – polygon 2 (survey 05/30/2023), c – polygon 2.1 (survey 06/01/2023)

Таблица 2. Морфометрические параметры участка, прилегающего к автодорожному мосту выше по течению (полигоны 2 и 2.1)

Table 2. Morphometric parameters of the section adjacent to the road bridge upstream (polygons 2 and 2.1)

Полигон № <i>Polygon</i>	Периметр (м) <i>Perimeter (m)</i>	Площадь (м ²) <i>Area (m²)</i>	Объем (м ³) / <i>Volume (m³)</i>	
			Выше / <i>Above</i>	Ниже / <i>Below</i>
2	302.419	5106.8	664.694	11665.3
2.1	302.419	5106.8	636.308	7042.0

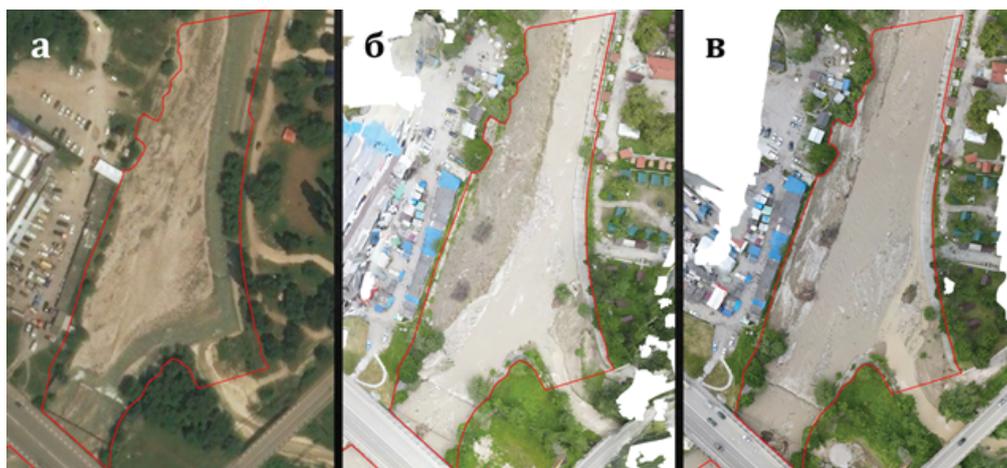


Рис. 3. Участок, прилегающий к автодорожному мосту ниже по течению:
 а – космоснимок (фото Sentinel-2, 24.04.2-23 г.); б – полигон 3 (съемка 30.05.2023 г.);
 в – полигон 3.1 (съемка 01.06.2023 г.)

Fig. 3. The section adjacent to the road bridge downstream:

a – satellite image (photo by Sentinel-2, 04/24/23), b – polygon 3 (survey 05/30/2023), c – polygon 3.1 (survey 06/01/2023)

Таблица 3. Морфометрические параметры участка, прилегающего к автодорожному мосту ниже по течению (полигоны 3 и 3.1)

Table 3. Morphometric parameters of the section adjacent to the road bridge downstream (polygons 3 and 3.1)

Полигон № Polygon	Периметр (м) Perimeter (m)	Площадь (м ²) Area (m ²)	Объем (м ³) / Volume (m ³)	
			Выше / Above	Ниже / Below
3	573.575	11147.8	2728.5	23361.5
3.1	573.575	11147.8	2643.4	21572.8

и пр., имеют место некоторые сложности, обусловленные в основном несовершенством применяемого оборудования или программного обеспечения. Так, относительным недостатком БПЛА «DJI MavicAir 2» является штатная цифровая камера: оптическая система аппарата характеризуется сильной дисторсией (геометрическое искажение/ искривление объектов съемки), что выражается в искажении получаемых кадров, то есть только небольшая центральная часть снимка оказывается пригодной для формирования стереопары. Также одной из проблем в съемках с БПЛА является такая помеха, как растительность и тени. Выявлено, что при съемке и обработке данных растительность, которая при оцифровке принимается за рельеф, может вносить некоторую погрешность [15-17].

Выводы

Проведение одновременных рекогносцировочных обследований небольших (в несколько квадратных километров) территорий с применением БПЛА позволяет в оперативном режиме и с высокой точностью отслеживать динамику различных геоморфологических и гидрологических явлений.

На основе данных, полученных при помощи БПЛА и обработанных в профильных программных приложениях, могут быть созданы ортофотопланы и цифровые модели, что дает возможность количественно оценить динамику пространственно-временных изменений объектов мониторинга. Данные модели позволяют производить полноценные измерения с высокой точностью, вплоть до расчета объема наносов, оползневых тел или объема вынесенного грунта в результате эрозионных или селевых процессов.

На основе анализа данных дистанционного обследования, а также результатов инженерных изысканий, полученных на месте (на земле), возможны разработка адекватных оперативных мероприятий, проектирование защитных сооружений и др. в целях предотвращения или минимизации негативного воздействия опасных природных процессов на обследуемой территории.

Материалы проведенных исследований также могут представлять интерес для исследователей в области геоэкологии, ландшафтоведения, гидрологии, геоморфологии, биогеографии, картографии и смежных дисциплин.

Список использованных источников

1. **Атутова Ж.В.** Опыт применения дистанционных данных при изучении восстановительной динамики геосистем // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 22-23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 7-9.
2. **Балтакова А.** Применение ГИС и данных дистанционного зондирования для анализа селевых потоков на примере изучения западных предгорий Пирин (Болгария) / Николова В., Кендерова Р., Христова Н. // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. Тбилиси: Универсал, 2018. С. 22-33.
3. **Бляхарский Д.П., Волгушева Н.Э., Казаков Э.Э.** Мониторинг ледников в сезон абляции с использованием беспилотных аэрофотосъемочных систем на примере ледников Потанина и Александры (массив Табын-Богдо-ола, Монголия) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63, № 2. С. 168-179.
4. **Воскресенский И.С.** Применение БПЛА для мониторинга оползневых и эрозийных процессов (на примере центра Русской равнины) / Сучилин А.А., Ушакова Л.А., Шафоростов В.М., Энтин А.Л. // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 22-23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 42-47.
5. **Kharchenko S., Tsyplenkov A., Petrakov D., Golosov V.** Causes and consequences of the streambed restructuring of the Koiavgan Creek (North Caucasus, Russia) // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 163-02003.
6. **Докукин М.Д.** Мониторинг обвалов, оползней и других разрушительных процессов в высокогорной зоне на основе анализа разновременных космоснимков / Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черногорец С.С. // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях: Материалы Общероссийской научно-практической конференции. М.: ООО «Геомаркетинг», 2021. С. 59-68.
7. **Ерофеев А.А., Ябаркин А.Ю., Еремеев В.Ф.** Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 22-23 мая 2018 г.). Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 68-70.
8. **Коновалова Т.И.** Геосистемное картографирование. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 186 с.
9. **Mishra N.B., Miles E.S., Chaudhuri G., Mainali K.P., Mal S., Singh P.B., Tiruwa B.** Quantifying heterogeneous monsoonal melt on a debris-covered glacier in Nepal Himalaya using repeat uncrewed aerial system (UAS) photogrammetry // Journal of Glaciology. 2021. № 1 (17). <https://doi.org/10.1017/jog.2021.96>.
10. **Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А.** Современные проблемы гидрологии: учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 170 с.
11. **Докукин М.Д.** Признаки подготовки катастрофических сходов ледников (анализ разновременной

References

1. **Atutova Zh.V.** The experience of using remote data in the study of the restorative dynamics of geosystems / Sb. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Irkutsk: Publishing House of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2018. P. 7-9.
2. **Baltakova A.** Application of GIS and remote sensing data for the analysis of mudflows on the example of studying the western foothills of Pirin (Bulgaria) / Nikolova V., Kenderova R., Hristova N. // Mudflows: disasters, risk, forecast, protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, October 1-5, 2018 Tbilisi: Universal, 2018. P. 22-33
3. **Blyakharsky D.P., Volgusheva N.E., Kazakov E.E.** Monitoring of glaciers during the ablation season using unmanned aerial photography systems on the example of the Potanin and Alexandra glaciers (Tabyn-Bogdo-ola massif, Mongolia) // Izvestiya vysshov uchebnykh uchebnykh zavody. Expedition and aerial photography. 2019. Vol. 63. No. 2. P. 168-179.
4. **Voskresensky I.S.** The use of UAVs for monitoring landslide and erosion processes (on the example of the center of the Russian plain) / Suchilin A.A., Ushakova L.A., Shaforostov V.M., Entin A.L. / Sb. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Irkutsk: Publishing House of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2018. P. 42-47
5. **Kharchenko S., Tsyplenkov A., Petrakov D., Golos V.** The causes and consequences of the restructuring of the Koyavgan streambed (North Caucasus, Russia) // Web conferences E3S. – 2020. – Volume 163-02003.
6. **Dokukin M.D.** Monitoring of landslides, landslides and other destructive processes in the high-altitude zone based on the analysis of multi-temporal satellite images / Bekkiev M.Yu., Kalov R.H., Savernyuk E.A., Chernomoretz S.S. // Study of hazardous natural processes and geotechnical monitoring during engineering surveys. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Moscow: Publishing House: Geomarketing LLC. 2021. P. 59-68.
7. **Yerofeev A.A., Yabarkin A.Yu., Yermeev V.F.** The first results of aerial photography of the Aktru mountain-glacial basin using UAVs. In the collection: The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Irkutsk, May 22-23, 2018). Irkutsk: Institute of Geography SB RAS, 2018. P. 68-70.
8. **Konovalova T.I.** Geosystem mapping. Novosibirsk: Academic publishing house "Geo", 2010. 186 p.
9. **Mishra NB, Miles ES, Chaudhuri G, Mainali KP, Mal S, Singh PB, Tiruwa B.** Quantifying heterogeneous monsoonal melt on a debris-covered glacier in Nepal Himalaya using repeat uncrewed aerial system (UAS) photogrammetry // Journal of Glaciology. 2021.N1 (17). <https://doi.org/10.1017/jog.2021.96>
10. **Vinogradov Yu.B., Vinogradova T.A.** Modern problems of hydrology: textbook. the manual. M.: Publishing center "Academy", 2008.170 p.
11. **Dokukin M.D.** Signs of preparation of catastrophic glacier descents (analysis of multi-temporal space information) / Bekkiev M.Yu., Kalov R.H., Savernyuk E.A., Chernomoretz S.S. // In the proceedings of the conference: "Dangerous natural and man-made processes in mountainous regions: models, systems, technologies". (Vladikavkaz, September 30 – October 2, 2019) Vladikavkaz, 2019. P. 522-528.

космической информации) / Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии: Сборник материалов научной конференции (г. Владикавказ, 30 сентября – 2 октября 2019 г.). Владикавказ, 2019. С. 522-528.

12. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России // Отв. ред. Н.В. Кондратьева и др. М.: ООО «Феория»; Нальчик: Печатный двор, 2015. С. 90-94.

13. **Докукин М.Д.** Активизация обвалов на Центральном Кавказе и их влияние на динамику ледников и селевые процессы / Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Черноморец С.С., Савернюк Е.А. // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 3. С. 361-378.

14. **Kutuzov S., Lavrentiev I., Smirnov A., Nosenko G. and Petrakov D.** Volume changes of Elbrus glaciers from 1997 to 2017 // *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7, Article 153.

15. **Докукин М.Д.** Типы моренного рельефа и селевая опасность (на примере северного склона Центрального Кавказа): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва, 1993. 22 с.

16. **Докукин М.Д., Черноморец С.С., Савернюк Е.А.** Моренные пьедесталы – очаги формирования катастрофических гляциальных селей // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Сборник материалов IV Международной конференции. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 67-71.

17. **Allen S.K., Rastner I.P., Arora I.M., Hugel I.C., Stoffel I.M.** Lake outburst and debris flow disaster at Kedarnath, June 2013: hydrometeorological triggering and topographic predisposition // *Landslides*. 2015. DOI: 10.1007/s10346-015-0584-3.

Об авторах

Андзор Хамидбиевич Шерхов, канд. физ. – мат. наук, зав. лабор. геоэкологического мониторинга отдела экологических исследований AuthorID: 601874; fff.ddd.11@mail.ru

Зайна Жамаловна Гергокова, научный сотрудник лабор. геоэкологического мониторинга отдела экологических исследований Author ID: 903017; zayna.gerg@mail.ru

Ахмат Русланович Акаев, инженер лаборатории гляциологии отдела стихийных явлений, аспирант, akaev.axmat@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж., Акаев А.Р. 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 / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interest / 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 31.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.02.2024

12. Cadastre of mudflow hazard in the South of the European part of Russia // Editor N.V. Kondratieva, et al. M.: Feoria LLC, Nalchik: Printing Yard. 2015. pp. 90-94.

13. **Dokukin M.D.** Activation of landslides in the Central Caucasus and their influence on glacier dynamics and mudflow processes / Bekkiev M.Yu., Kalov R.H., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A. // *Ice and snow*. 2020. Vol. 60. N3. P. 361-378.

14. **Kutuzov S.** Changes in the volume of glaciers of Elbrus from 1997 to 2017/ Lavrentiev I., Smirnov A., Nosenko G. and Petrakov D. // *Frontiers of Earth Science* – 2019. Volume 7, article 153.

15. **Dokukin M.D.** Types of moraine relief and mudflow hazard (on the example of the North. the slope of the Central Caucasus). Abstract of the dissertation of the Candidate of Geographical Sciences / Lomonosov Moscow State University. Moscow, 1993. – 22 p.

16. **Dokukin M.D., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A.** Moraine pedestals – foci of formation of catastrophic glacial mudflows / Sb. Mudflows: disasters, risk, forecast, protection. Materials of the IV International Conference. Irkutsk: Publishing House of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2016. P. 67-71.

17. **Allen S.K., Rastner I.P., Arora I.M., Hugel I.S., Stoffel I.M.** The disaster at Lake Kedarnath and the mudflow in June 2013: hydrometeorological causes and topographic predisposition // *Landslides*. 2015. DOI 10.1007/s10346-015-0584-3

Author information

Anzor Kh. Sherkhov, CSc (Phys-Math), head of the laboratory geoecological monitoring of the environmental research department; AuthorID: 601874; fff.ddd.11@mail.ru

Zaina Zh. Gergokova, researcher of the laboratory geoecological monitoring of the environmental research department; Author ID: 903017; zayna.gerg@mail.ru

Akhmat R. Makaev, engineer of the glaciology laboratory of the department of natural phenomena, graduate student; akaev.axmat@mail.ru

Sherkhov A.H., Gergokova Z.Zh., Akaev A.R. performed practical and 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/10.26897/1997-6011-2024-2-90-95>

УДК 532.5:621.65:536.3



АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

С.Н. Редников[✉], Т.И. Матвеева, Д.М. Бенин, Е.Н. Ахмедьянова, А.С. Матвеев

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия
Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова; 127434, Москва, ул. Б. Академическая, 44, Россия

Аннотация. Разработка методик первичного диагностирования насосных агрегатов остается актуальной задачей в связи с низкими затратами на оценку состояния оборудования. Целью исследований является анализ результатов постремонтного контроля механической и электрической части гидроагрегатов с использованием термограмм. При проведении исследований использовался тестовый насосный агрегат с контролируемыми дефектами рабочего колеса, муфты, подшипниковыми и уплотнительными элементами. Оценивались минимальные требования к диагностическому оборудованию. Проводился анализ данных как при наличии дефектов, так и после их устранения. Представлены результаты анализа термограмм подшипниковых узлов центробежных насосов и приводных электродвигателей. Указывается, что для эффективного анализа оборудования минимальная разрешающая способность тепловизионной техники должна составлять не более 0,1 град. Это позволяет эффективно проводить анализ постремонтных состояний механической части.

Ключевые слова: тепловизионная диагностика, термограмма, механические узлы, насосные агрегаты

Формат цитирования: Редников С.Н., Матвеева Т.И., Бенин Д.М., Ахмедьянова Е.Н., Матвеев А.С. Анализ эффективности применения тепловизионных систем для оценки технического состояния насосных агрегатов // Природообустройство. 2024. № 2. С. 90-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-90-95>

Original article

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF USING THERMAL IMAGING SYSTEMS TO ASSESS THE TECHNICAL CONDITION OF PUMPING UNITS

S.N. Rednikov[✉], T.I. Matveeva, D.M. Benin, E.N. Akhmedyanova, A.S. Matveev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Institute of land reclamation, water management and construction named after A.N. Kostyakov; 44, Bolshaya Akademicheskaya, Moscow, 127434, Russia

Abstract. The development of methods for the primary diagnosis of pumping units remains an urgent task due to the low cost of assessing the condition of the equipment. The purpose of the study is to analyze the results of post-repair control of the mechanical and electrical parts of hydraulic units using thermograms. During the study, a test pumping unit with controlled defects of the impeller, coupling, bearing and sealing elements was used. The minimum requirements for diagnostic equipment were evaluated. The data was analyzed both in the presence of defects and after their elimination. The article presents the results of the analysis of thermograms of bearing assemblies of centrifugal pumps and drive electric motors. It is indicated that for an effective analysis of equipment, the minimum resolution of thermal imaging equipment should be no more than 0.1 degrees, which makes it possible to effectively analyze the post-repair conditions of the mechanical part.

Keywords: thermal imaging diagnostics, thermogram, mechanical components, pumping units

Format of citation: Rednikov S.N., Matveeva T.I., Benin D.M., Akhmedyanova E.N., Matveev A.S. Analysis of the effectiveness of using thermal imaging systems to assessing the technical condition of pumping units // Prirodobustrojstvo. 2024. № 2. P. 90-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-90-95>

Введение. Тепловизионная диагностика – метод, способствующий быстрому выявлению скрытых дефектов в гидроборудовании без применения разрушающих воздействий. В основу метода входит регистрация теплового поля на поверхности гидроборудования, тем самым

выявляя отклонения от нормы в контрольных точках, после анализа и оценки которых делается вывод об исправности гидросистемы в целом. Данный вид диагностики универсален, достоверен и безопасен как для самого оборудования, так и для персонала, проводящего исследование. Достоверность результатов, полученных от термограмм, достаточно велика, и иногда получение достоверного результата не предоставляется возможным другим путем или методом.

Одной из проблем диагностики элементов гидротехнических сооружений является идентификация начальной стадии до отказного разрушения. Наиболее простым методом первичной оценки состояния является анализ термограмм поверхности объектов. Традиционно тепловизионная диагностика осуществляется при сравнении термограмм поверхности объектов с эталоном, предыдущим состоянием или между аналогичными техническими объектами (рис. 1).

По результатам диагностики составляется карта выявленных дефектов и повреждений, даются рекомендации по их устранению.

Анализируя опыт оценки состояния насосных агрегатов на промышленных и гидротехнических объектах страны, можно отметить, что до сих пор находят широкое применение методы оценки состояния оборудования, когда первичная информация воспринимается органами чувств обслуживающего персонала по нагреву, шуму, запаху [1-3]. Особенно часто такой подход используется при оценке состояния вспомогательного оборудования, работающего на отказ. При наличии

служб надежности на предприятии находят применение методики виброакустического контроля, но применяются они, как правило, по заявкам или при выявлении предаварийных ситуаций. Использование этого вида оборудования для первичной оценки состояния агрегатов затруднено необходимостью квалифицированно проводить замеры и трактовать результаты обследования. Следовательно, возникает задача разработки и апробации методики комплексной диагностики, пригодной при первичной оценке состояния насосного оборудования.

Если при диагностике первичных неисправностей механической части гидравлических аппаратов наибольший эффект достигается в случае использования комбинированных методов диагностики, то при анализе пост-ремонтных состояний использование комбинированных методов зачастую является избыточным [4, 5]. Наибольший экономический эффект при наименьших временных затратах, как показали исследования, дает использование тепловизионной диагностики. Наиболее эффективным в этом случае является контроль состояния подшипниковых узлов (опор качания) и электротехнической контактной части.

Цель исследований: анализ результатов постремонтного контроля механической и электрической части гидроагрегатов с использованием термограмм.

Методы и материалы исследований. При проведении эксперимента был задействован центробежный насос типа «Д» с трехфазным

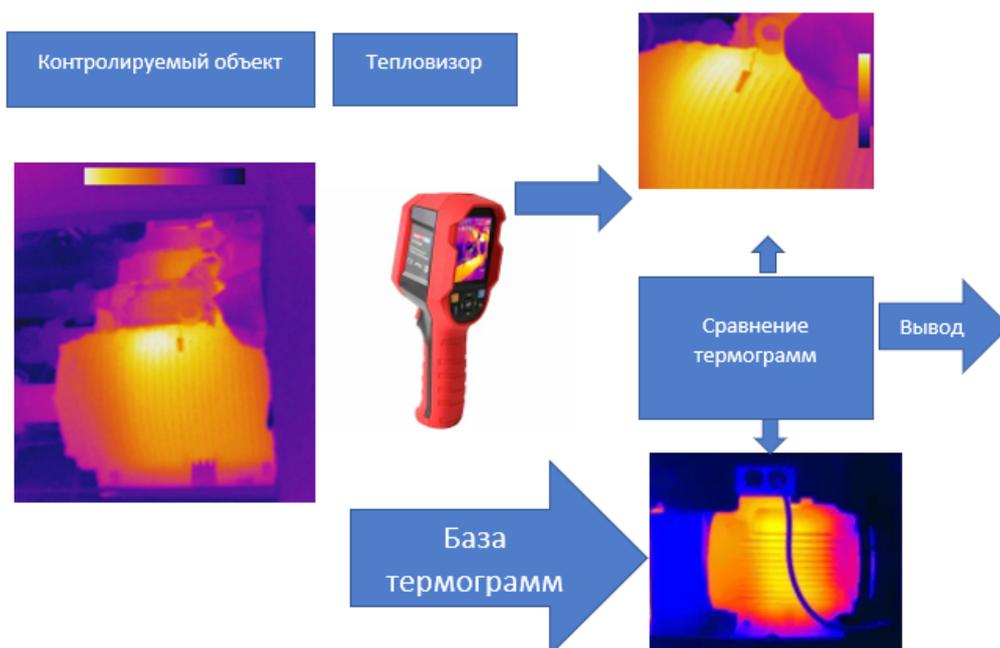


Рис. 1. Диагностика методом сравнения термограмм

Fig. 1. Diagnostics by a method of comparing thermograms

электродвигателем, с фиксированной частотой вращения.

Общеизвестным фактом является то, что только при качественной диагностике еще действующего оборудования в предремонтный период можно произвести оценку и закупку комплектующих для восстановления ресурса агрегата и предотвратить повышение стоимости ремонта в результате сопутствующих отказов элементов. Сложность составляет и тот факт, что остаточный ресурс насосных агрегатов зависит от множества внешних факторов – таких, как уровень и фракционный состав загрязнителей перекачиваемых сред, состояние систем охлаждения, качество подаваемой на электродвигатель электроэнергии как по частоте, так и по напряжению, состав и характер загрязнения воздушной среды в зоне установки агрегатов.

Чаще всего проблемы связаны с состоянием сальников и торцевых уплотнений. Высокий уровень герметичности используемых контактных или бесконтактных уплотнений обеспечивает длительную и плавную работу подшипниковых узлов. Вращение вала с биениями, вызываемыми дисбалансом статического и динамического типов, оказывает чрезмерную нагрузку на функционирование уплотняющих узлов, что уменьшает срок их службы [6, 7]. Причинами возникновения биений могут стать нарушение центрирования оси вращения вала двигателя и насоса, осевое смещение, инородные тела в крыльчатке или ее квантанционный износ, плохое состояние подшипников. Подшипники необходимо регулярно обслуживать. Неисправность подшипников может привести к повреждению иных элементов оборудования. При внезапном повышении расхода электроэнергии, как правило, требуется ремонт электродвигателя насоса. Чтобы устранить неисправность, сначала нужно выяснить причину ее возникновения путем диагностирования, и только тогда можно выполнить качественный ремонт. Не менее важной является проверка состояния оборудования после ремонтных воздействий.

Достаточно просто можно выявить неисправности, связанные с повреждением обмоток электродвигателей насосных агрегатов, а также проблемы контактных зон распределительного оборудования. Тепловизионный контроль широко применяется персоналом, контролирующим электротехническое оборудование, при выявлении межвитковых замыканий, перегрузок катушек магнитных систем управления, ослабших контактных соединений, разбега фаз. Одной из проблем при этом является необходимость достаточно большого опыта и знания объекта

диагностом. Кроме того, в более сложных случаях один лишь анализ термограмм может затруднить выявление причин наступления неисправного состояния. С применением перекрестных методов диагностики и автоматизированного анализа термограмм поверхности объектов с использованием систем искусственного интеллекта становится возможным разработка полуавтоматизированных, а в перспективе – автоматизированных систем оценки состояния объектов.

В работе [1] авторами была произведена оценка состояния насоса до его аварии, выявлены зоны с аномальным нагревом опор подшипника, элементов компенсирующей муфты и сальниковой набивки (рис. 2). Как следствие этого, происходит расцентровка вала двигателя насоса и возникает необходимость замены смазки подшипниковых узлов.

В исследованиях использовался переносной тепловизор UNI 260В чувствительностью 0,1 град., с разрешением матрицы 256*192, относящийся к тепловизорам начального уровня с не охлаждаемой матрицей. Температурный диапазон – от -15°C до $\sim +550^{\circ}\text{C}$. Особенностью прибора является автофокусировка.

Результаты и их обсуждение. После проведения ремонтных работ по смазке и центровке была составлена термограмма, представленная рисунке 3.

На термограммах хорошо заметен разный характер зон нагрева компенсирующей муфты до процедуры центровки и после нее. Также можно заметить различие в зонах повышенных температур исправного подшипника при наличии достаточного количества смазки и при ее отсутствии. При отсутствии смазки

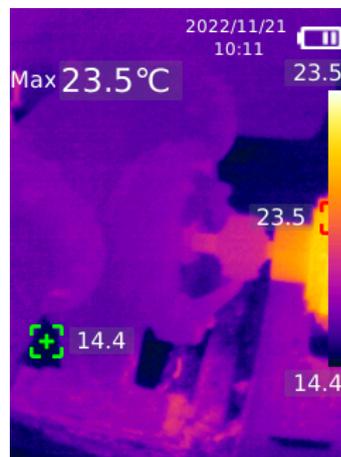


Рис. 2. Термограмма подшипника до проведения работ с выявленными дефектами смазки
Fig. 2. Thermogram of the bearing prior to work with detected lubrication defects

на неповрежденных дорожках качения наблюдается повышенная температура наружной обоймы и прилегающей зоны вала, частично прогреваемой вследствие трения в уплотняющем элементе.

На рисунке 4 представлены термограммы подшипника до ремонтного обслуживания

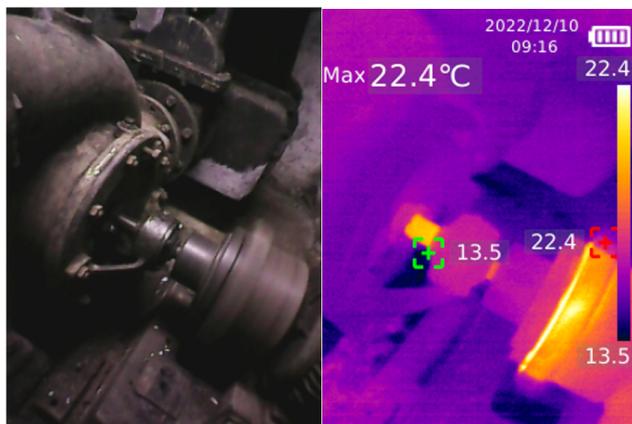


Рис. 3. Подшипник насоса и термограмма после ремонта

Fig. 3. Pump bearing and thermogram after repair

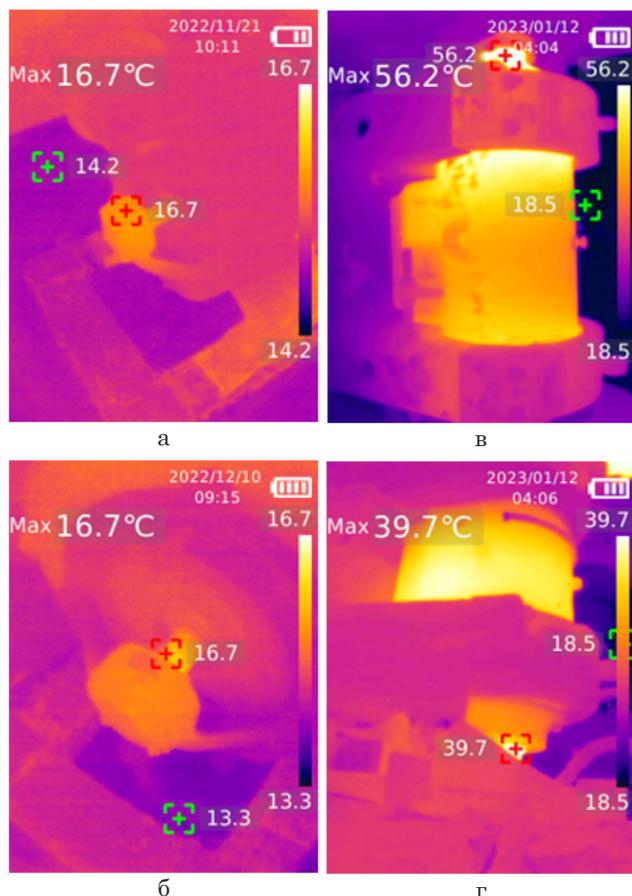


Рис. 4. Термограммы:

подшипника до обслуживания (а) и после него (б); подшипника качения до смазки (в) и после нее (г)

Fig. 4. Thermograms of:

bearing before (a) and after (b) service; rolling bearing before (B) and after (D) lubrication

и смазки (а) и после него (б). На термограмме подшипника после проведения обслуживания хорошо заметны смещение зоны тепловыделения в зону внутренней обоймы и падение температуры наружной обоймы и корпуса.

Не менее эффективно и выявление начального состояния дефектов обмоток [3, 8], электроизоляции проводов [9] и элементов электроавтоматики [10, 11]. На рисунке 5 приведены примеры выявления дефектов соединения силовой обмотки в распределительном шкафу и в клеммной коробке электродвигателя соответственно.

Представленный метод термограмм позволяет выявлять ослабленные контактные группы, предварительно оценивать возможность «смещения фаз» и межвитковые замыкания [3, 12, 13].

В простейших случаях однофакторных неисправностей, используя 600 эпох обучения, удалось получить ошибку распознавания 0.401 для одноветвленной сети. Но при наличии комбинированных неисправностей ошибка распознавания возрастала до 0.783, что является неприемлемым. Это показывает, что целесообразно использовать многоветвенные модели, анализирующие не только термограммы поверхности объектов, но и, как минимум, виброакустические сигналы.

Метод оценки объемного распределения температурных аномалий целесообразно применять при выявлении температурной аномалии на термограммах, используя для этого интеллектуальную измерительную систему как инструмент идентификации растровых термограмм при одновременном формировании граничных условий для решения задачи объемного распределения температур.

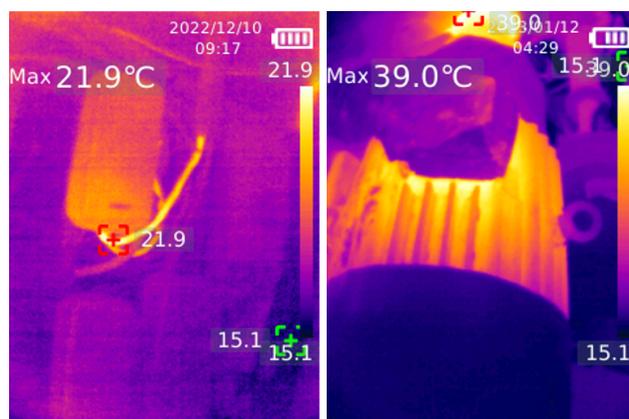


Рис. 5. Зона повышенного нагрева проводников и клеммной коробки электродвигателя

Fig. 5. The zone of increased heating of the conductors and the terminal box of the electric motor

Обработку термограмм осуществляли с использованием нейронной сети. Обучение сети осуществлялось методом коррекцией весовых коэффициентов с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Использовались эталонные и экспериментальные данные, снимаемые с объектов с заранее известными неисправностями. Применяли 500 эталонных и 550 экспериментальных термограмм. Термограммы были представлены как классический трехмерный массив, глубина которого соответствует красному, синему, зеленому каналам. Первоначально использовалась сеть с пятью выходными нейронами, соответствующими четырем типовым неисправностям и одному исправному состоянию. Общее число нейронов – 21413.

Список использованных источников

1. **Матвеева Т.И., Редников С.Н.** Анализ применения методики экспресс-диагностики насосных агрегатов // *Сельский механизатор*. 2023. № 6. С. 38-40. DOI: 10.47336/0131-7393-2023-6-38-39-40.
2. **Бакштанин А.М., Матвеева Т.И.** Тенденции развития цифровых гидравлических технологий в АПК // *Научно-инновационное развитие АПК. Цифровая трансформация, искусственный интеллект и интеллектуализация производства: сборник статей Всероссийской национальной научно-практической конференции, Екатеринбург, 25-26 ноября 2021 г.* Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. С. 149-152.
3. **Соколова О.В., Соколов И.С.** Устройство для диагностики межвитковых замыканий и дефектов подшипников асинхронных электродвигателей // *Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2019. Т. 11, № 3. С. 592-599.
4. **Редников С.Н.** Использование комплексного подхода в диагностике гидравлических систем металлургического оборудования / *Закиров Д.М., Ахмедьянова Е.Н., Ахмедьянова К.Т.* // *Наука и бизнес: пути развития*. 2018. № 10 (88). С. 8-10.
5. **Bashirov M., Nemirovskiy A., Aluynov A., Vyatkina O., Salikhova R.** Destruction of electrical insulating structures of electric motors during various drying techniques // *E3S Web of Conferences*. 2020. С. 01066.
6. **Матвеев А.С.** Вероятностные модели определения оптимальной периодичности ремонтно-профилактических воздействий // *Природообустройство*. 2009. № 3. С. 96-98.
7. **Шакурова Р.З.** Разработка надежного и энергоэффективного способа диагностики технического состояния энергетического оборудования // *Научному прогрессу – творчество молодых*. 2019. № 2. С. 195-197.
8. **Редников С.Н., Закиров Д.М., Платов С.И., Огарков Н.Н.** Анализ использования тепловизионных методов диагностики металлургического оборудования // *Перспективы науки*. 2018. № 11(110). С. 14-17.
9. **Rednikov S., Akhmedyanova E., Akhmedyanova K., Toymurzin D.** Effective diagnostics of metallurgical equipment // *Proceedings-2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC2020*. Chelyabinsk, 17-19 ноября 2020 г. Chelyabinsk. 2020. Pp. 151-156. DOI: 10.1109/GloSIC50886.2020.9267858.

Выводы

Анализ технического состояния центробежного насоса наглядно показал обоснованность применения авторами данного вида диагностирования, а именно применение теплового контроля в диагностике гидрооборудования в пост-ремонтном состоянии.

Использование систем обработки диагностической информации с помощью глубинных нейронных сетей является наиболее целесообразным при комплексном обследовании, с анализом методами искусственного интеллекта не менее чем двух независимых методов оценки состояния объекта.

References

1. **Matveeva T.I., Rednikov S.N.** Analysis of the application of the method of express diagnostics of pumping units // *Rural machine operator*. 2023. № 6. P. 38-40. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-6-38-39-40.
2. **Bakhtanin A.M., Matveeva T.I.** Trends in the development of digital hydraulic technologies in the agro-industrial complex // *Scientific-innovation development of AIC. Digital transformation, artificial intelligence and Intellectualization of production: collection of articles of the All-Russian national scientific and practical conference, Yekaterinburg, November 25-26, 2021.* Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2022. P. 149-152.
3. **Sokolova O.V., Sokolov I.S.** Device for diagnosing inter-turn closures and defects of bearings of asynchronous electric motors // *Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. 2019. T. 11. № 3. P. 592-599.
4. **Rednikov S.N.** Use of integrated approach in diagnostics of hydraulic systems of metallurgical equipment / *S.N. Rednikov, Zakirov D.M., E.N. Akhmedyanova, K.T. Akhmedyanova* // *Science and business: ways of development*. 2018. № 10(88). P. 8-10.
5. **Bashirov M.** Destruction of electrical insulating structures of electric motors during various drying techniques/ *Bashirov M., Nemirovskiy A., Aluynov A., Vyatkina O., Salikhova R.* // *E3S Web of Conferences*. 2020. С. 01066.
6. **Matveev A.S.** Probabilistic models for determining the optimal periodicity of repair and preventive effects // *Prirodoobustrojstvo*. 2009. № 3. P. 96-98.
7. **Shakurova R.Z.** Development of a reliable and energy-efficient method for diagnosing the technical state of energy equipment. 2019. № 2. P. 195-197.
8. **Rednikov S.N.** Analysis of the use of thermal imaging methods for diagnostics of metallurgical equipment / *S.N. Rednikov, D.M. Zakirov, S.I. Platov, N.N. Ogarkov* // *Perspectives of science*. 2018. № 11(110). P. 14-17.
9. **Effective diagnostics of metallurgical equipment / S. Rednikov, E. Akhmedyanova, K. Akhmedyanova, D. Toymurzin** // *Proceedings – 2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC2020*, Chelyabinsk, 17-19 November, 2020. Chelyabinsk: 2020. P. 151-156. – DOI 10.1109/GloSIC50886.2020.9267858.

10. **Бенин Д.М.** Диагностика и надежность гидравлических систем в условиях городского хозяйства: монография. М.: Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», 2018. 202 с.

11. **Редников С.Н.** Использование комбинированных методов диагностики гидравлических систем металлургических агрегатов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2017. № 4. С. 94-98.

12. **Редников С.Н., Караашев Х.А.** Методика оценки режимов работы насосов в системах охлаждения металлургических агрегатов // Тяжелое машиностроение. 2018. № 10. С. 20-23.

13. **Редников С.Н., Найгерт К.В., Прокудина Л.А.** Методика расчета адсорбционных процессов в малых зазорах проточной части приводов высокого давления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». 2017. Т. 17, № 1. С. 21-32.

10. **Benin D.M.** Diagnostics and reliability of hydraulic systems in the conditions of urban economy. Monograph. Moscow: Editorial board of the journal "Mechanization and Electrification of agriculture", 2018. 202 p.

11. **Rednikov S.N.** Use of combined methods of diagnostics of hydraulic systems of metallurgical aggregates // Problems of ferrous metallurgy and material science. 2017. № 4. P. 94-98.

12. **Rednikov S.N., Karaashev Kh.A.** Methods of assessing the modes of operation of pumps in cooling systems of metallurgical aggregates // Heavy engineering. 2018. № 10. P. 20-23.

13. **Rednikov S.N., Naigert K.V., Prokudina L.A.** Methodology for calculating adsorption processes in small gaps of the flow part of high-pressure drives // Bulletin of South Ural State University. Series: Mechanical Engineering. 2017. V. 17. № 1. P. 21-32.

Об авторах

Сергей Николаевич Редников, д-р техн. наук, доцент; Scopus – 57170810400, SPIN-код – 6267-1900, AuthorID: 119444; srednikov@mail.ru

Татьяна Ивановна Матвеева, канд. техн. наук, доцент; Scopus – 57226403084, SPIN-код – 4020-2495, AuthorID: 939474; timatveeva@rgau-msha.ru

Дмитрий Михайлович Бенин, канд. техн. наук, доцент; Scopus – 57216751281, SPIN-код – 6243-0567, AuthorID: 708496; dbenin@rgau-msha.ru

Елена Наильевна Ахмедьянова, ст. преподаватель; Scopus – 57170868800, spin-код – 3754-9120, authorid: 778394; karinlen@mail.ru

Александр Сергеевич Матвеев, канд. техн. наук, доцент; spin-код – 1541-5529, authorid: 709785; matveev@rgau-msha.ru

Author information

Sergey N. Rednikov, DSc (Eng), associate professor; Scopus – 57170810400, SPIN-code – 6267-1900, AuthorID: 119444; srednikov@mail.ru

Tatiana I. Matveeva, CSc, associate professor; Scopus – 57226403084, SPIN-code – 4020-2495, AuthorID: 939474; timatveeva@rgau-msha.ru

Dmitry M. Benin, CSc (Eng), associate professor; Scopus – 57216751281, SPIN-code – 6243-0567, AuthorID: 708496; dbenin@rgau-msha.ru

Elena N. Akhmedyanova, senior lecturer; Scopus – 57170868800, spin-code – 3754-9120, authorid: 778394; karinlen@mail.ru

Alexandr S. Matveev, CSc (Eng), associate professor; spin-code – 1541-5529, authorid: 709785; matveev@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Редников С.Н., Матвеева Т.И., Бенин Д.М., Ахмедьянова Е.Н., Матвеев А.С. 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 / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interest / 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 26.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 28.02.2024

S.N. Rednikov, T.I. Matveeva, D.M. Benin, E.N. Akhmedyanova, A.S. Matveev performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агроресомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-96-103>

УДК 630.273*:712.41 (470.54-25)



ИТОГИ РАЗВИТИЯ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СКВЕРА У КУЛЬТУРНО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АРЕНА «УРАЛЕЦ» В Г. ЕКАТЕРИНБУРГЕ

Л.И. Аткина , У.А. Сафронова

Уральский государственный лесотехнический университет; 620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценка древесных насаждений на территории сквера у КРК (культурно-развлекательный комплекс) Арена «Уралец» как результата развития объекта озеленения за последние 70 лет его существования в современных границах для выбора оптимальных решений при проектировании реконструкции. В статье приведены результаты исследования видового состава, структуры, санитарного состояния и этапности развития насаждений на территории сквера у КРК комплекса Арена «Уралец» в г. Екатеринбурге. Установлено, что более 56% от количества древесных растений занимают *Acer negundo* L. и *Populus balsamifera* L. Рядовые посадки (20% площади) созданы из деревьев рода *Populus* и рода *Malus*, в массивах (около 25% площади) использованы *Populus balsamifera* L. и *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., прочие виды встречаются в группах (55% площади). Санитарное состояние насаждений сильно ослабленное (2,9 балла), наилучшие средние баллы отмечены у наиболее долговечных видов: *Larix sibirica* Ledeb., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. Менее долговечные виды (*Prunus maackii* Rupr., *Pyrus ussuriensis* Maxim., *Malus baccata* L., *Populus balsamifera* L.) отмирают. Плотность посадок на прокашиваемых участках соответствует рекомендованным нормам, на участках без ухода по причине внедрения *Acer negundo* L. этот показатель превышен в среднем на 25%. В процессе формирования сквера у КРК «Уралец» было выделено 3 этапа: 1) независимое формирование отдельных участков с интеграцией естественных насаждений; 2) полное преобразование ландшафта центральной части объекта, создание декоративных посадок, формирование единого пространства сквера; 3) дополнение пространства декоративными посадками. При реконструкции сквера, объединившего в себе насаждения различного происхождения и функций, наиболее благоприятна поэтапная реконструкция: от менее долговечных отмирающих видов и с сохранением деревьев *Larix sibirica* Ledeb., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. и *Betula pendula* Roth.

Ключевые слова: видовой состав, структура, этапы развития, озеленение сквера, поэтапная реконструкция

Формат цитирования: Аткина Л.И., Сафронова У.А. Итоги развития насаждений на территории сквера у культурно-развлекательного комплекса Арена «Уралец» в г. Екатеринбурге // Природообустройство. 2024. № 2. С. 96-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-96-103>

Original article

RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF PLANTINGS ON THE TERRITORY OF THE PARK NEAR THE ARENA “URALETS” CULTURAL AND ENTERTAINMENT COMPLEX IN YEKATERINBURG

L.I. Atkina , U.A. Safronova

Ural State Forestry Engineering University; 37 Sibirskiy Trakt str., Yekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620100, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the species composition, structure, health condition, and stages of development of the plantings in the garden square near CEC «Uralets»,

Yekaterinburg – alley of the Palace of Sports in Yekaterinburg. This study shows that more than 56% of woody plants were *Acer negundo L.* and *Populus balsamifera L.* There were plantings in lines (20% of the area) consisting of trees of *Populus* and *Malus* genus, plantings in arrays (about 25% of the area) of *Populus balsamifera L.* and *Fraxinus pennsylvanica Marsh.* Other species were planted in groups (55% of the area). The health condition of the plantings was assessed as 2.9 (very poor). The most durable species *Larix sibirica Ledeb.*, *Quercus robur L.*, and *Tilia cordata Mill.* had the best average scores. Less durable species *Prunus maackii Rupr.*, *Pyrus ussuriensis Maxim.*, *Malus baccata L.*, and *Populus balsamifera L.* were dying off. Planting density in mowed areas corresponded to the recommended norms, while this indicator was exceeded by an average of 25% in areas without care due to the invasion of *Acer negundo L.* Three stages were distinguished in the formation process of the garden square near CEC Uralets: 1) individual plots were created and natural plantations were integrated; 2) performed complete transformation of the landscape in the central part, planted ornamental plants and created a single space of the garden square; 3) decorative plantings were added to the garden square. During the reconstruction of the garden square that combines plantings of various origins and functions, step-by-step reconstruction is the most favorable – starting with less durable dying species and preserving *Larix sibirica Ledeb.*, *Quercus robur L.*, *Tilia cordata Mill.*, and *Betula pendula Roth.*

Keywords: species composition, structure, stages of development, landscaping of the park, step-by-step reconstruction

Format of citation: Atkina L.I., Safronova U.A. Results of the development of plantings on the territory of the park near the Arena “Uralets” cultural and entertainment complex in Yekaterinburg // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 96-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-96-103>

Введение. Для г. Екатеринбурга характерно наличие полного спектра категорий объектов ландшафтной архитектуры: от скверов у административных зданий площадью несколько десятков квадратных метров до лесных парков, занимающих сотни гектаров. Среди крупных объектов городского озеленения территория у Культурно-развлекательного комплекса Арена «Уралец» (КРК Арена «Уралец») выделяется тем, что насаждения этой зеленой зоны ни разу не подвергались существенной реконструкции со времени завершения их формирования в 80-е гг. XX в. К настоящему времени встает вопрос о подготовке к проведению реконструкции.

Цель исследований: оценка древесных насаждений на территории сквера у КРК Арена «Уралец» как результата развития объекта озеленения за последние 70 лет его существования в современных границах для выбора оптимальных решений при проектировании реконструкции.

Для достижения цели необходимо определить состав, структуру, санитарное состояние насаждений и этапность их трансформации.

Материалы и методы исследований. Объект исследований – древесно-кустарниковые насаждения, произрастающие на территории сквера у КРК Арена «Уралец» в Ленинском районе г. Екатеринбурга. Обследование проведено на территории от ледовой арены КРК Арена «Уралец» с западной стороны до ул. 8 Марта (рис. 1).

С юга зеленая зона ограничена улицей Большакова, а с северной стороны граница

объекта обследования проходила вдоль зданий Уральского института кардиологии и других медицинских учреждений.

При полевой инвентаризации 2021-2022 гг. определялись вид [1], высота, количество стволов, диаметр ствола, возраст и санитарное состояние [2]. Для уточнения данных об ассортименте использованы научные публикации П.В. Луговых [3] и Л.А. Семкиной [4], посвященные озеленению г. Свердловска.

Схемы обследованных насаждений смоделированы с помощью программного обеспечения Qgis. Для выполнения анализа пространственной структуры насаждений и сопоставления ее с эколого-биологическими показателями деревьев вся территория условно разделена на участки по следующим критериям: пространственная обособленность, существенные различия в видовом составе, происхождении, возрастной



— Граница участка обследования
Рис. 1. Схема расположения участка обследований
Fig. 1. Layout of the survey site

и пространственной структуре. По пространственной структуре посадки классифицированы на рядовые, групповые (3-20-25 деревьев) и массивы (более 50 деревьев).

Результаты и их обсуждение. На территории сквера обследован 2841 экз. древесных растений, представленный 25 видами деревьев и 9 видами кустарников. Более 97% от общего числа изученных растений составляют деревья, среди которых преобладают *Acer negundo L.* (28,4%), *Populus balsamifera L.* (27,9%), *Malus baccata L.* и гибриды с другими видами яблонь (8,5%), *Fraxinus pennsylvanica Marsh.* (8,2%), *Ulmus laevis Pall. u Ulmus glabra Huds.* (5,7%), *Betula pendula Roth. u Betula pubescens Ehrh.* (4,6%), *Tilia cordata Mill.* (3,9%), *Pyrus ussuriensis Maxim.* (2,8%). Остальные виды занимают в составе 0,04-1,7%.

Особенности размещения преобладающих видов на обследованной территории представлены на рисунке 2.

Как следует из рисунка 2, на обследованной территории чистые по составу рядовые посадки были созданы в основном из тополей и яблонь. Также в северной части объекта присутствовали ряды липы мелколистной и груши уссурийской, в структуру которых внедрился клен ясенелистный. Вдоль основной оси сквера расположены рядовые посадки из гибридов яблони с формованными кронами, обладающие розовой окраской цветков. Для создания массивов использованы тополь бальзамический и ясень пенсильванский. Остальные виды деревьев и кустарников встречаются в смешанных и чистых группах.

Несмотря на небольшое количество, особую ценность представляют деревья *Quercus robur L.*, произрастающие в групповых посадках вдоль ул. Большакова, поскольку этот вид сравнительно редко используется в озеленении Екатеринбурга. В возрасте 65-70 лет в настоящее время эти дубы, высаженные одновременно с другими

видами, еще не демонстрируют признаков старения, имеют характерный привлекательный облик и находятся в хорошем санитарном состоянии (средний балл 2,2). Средняя высота *Quercus robur L.* на объекте составляет 17,5 м (отдельные деревья – до 22-23 м), средний показатель таксационного диаметра – 28 см.

Acer negundo L. самопроизвольно занимает все свободные пространства, и в северной части, где территория не прокашивается, его доля в среднем составляет 44%, а на некоторых участках превышает 50%. В южной части объекта, где травянистую растительность регулярно скашивают, а также в загущенных массивах присутствие клена ясенелистного минимально.

В ходе проведенной инвентаризации обнаружено несколько видов, которые не были отмечены авторами предыдущих обследований [4]. Молодые посадки *Juglans mandshurica Maxim.* и *Picea pungens Engelm. f. Glauca* созданы менее 10 лет назад, а *Sambucus racemosa L.*, вероятно, была занесена птицами с территории парка Зеленая Роща. Не обнаружены следующие виды, отмеченные на территории сквера ранее в публикации Л.А. Семкиной [4]: *Ribes nigrum L.*, *Symphoricarpos albus (L.) Blake*, *Rhamnus cathartica L.*, *Alnus glutinosa (L.) Gaertn.*, *Lonicera ruprechtiana Rgl.*

Средние биометрические показатели по преобладающим видам представлены в таблице 1.

Как следует из данных таблицы 1, на территории сквера преобладают деревья второй величины [5]. К деревьям первой величины можно отнести тополь бальзамический, а к деревьям третьей величины – яблоню ягодную и ее гибриды, грушу уссурийскую и черемуху Маака.

Среди преобладающих видов деревьев наименьшим (наилучшим) средним баллом санитарного состояния 2,0 из 5 возможных характеризуется лиственница сибирская. Этот

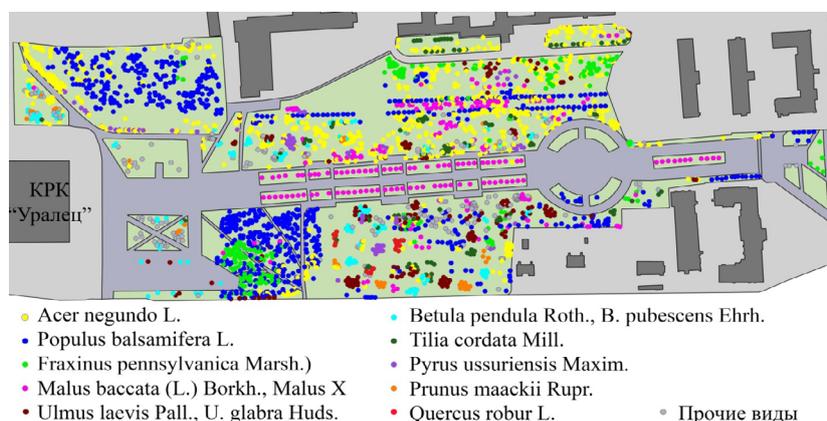


Рис. 2. Схема пространственного расположения деревьев преобладающих видов

Fig. 2. Scheme of the spatial arrangement of trees of the predominant species

показатель соответствует ослабленному состоянию. Такой же средний балл у молодых посадок ореха маньчжурского. Береза повислая и пушистая, дуб черешчатый, липа мелколистная, а также яблоня ягодная в центральной аллее имеют средние баллы – в пределах 2,5, то есть не переходят в категорию «сильно ослабленного» состояния. Неудовлетворительными средними показателями санитарного состояния (более 3,5 балла) характеризуются боярышник кроваво-красный, черемуха Маака и карагана древовидная, что связано с достижением ими предельного возраста. Остальные виды деревьев и кустарников имеют средние баллы (от 2,5 до 3,4), соответствующие сильно ослабленному состоянию, и нуждаются в мероприятиях по уходу. Средний балл санитарного состояния по всем обследованным растениям составляет 2,9.

При сопоставлении средних баллов санитарного состояния по отдельным видам с их биологическими характеристиками становится очевидным, что в наилучшем состоянии оказались наиболее долговечные [5, 6] виды: лиственница сибирская, дуб черешчатый, липа мелколистная, а также береза повислая и пушистая, которые относятся к менее долговечным видам, но хорошо приспособлены к условиям среднего Урала.

Наиболее выраженный процесс отмирания деревьев и высокие средние баллы санитарного состояния на обследованной территории характерны для видов со сравнительно короткой продолжительностью жизни [7, 8]: черемуха Маака, груша уссурийская, яблоня ягодная в смешанных насаждениях без регулярного ухода,

тополь бальзамический. Ясень пенсильванский, вяз гладкий и вяз шершавый еще не достигли предельного возраста на обследованном объекте, но повсеместно страдают от специфических заболеваний.

Чтобы сопоставить данные о состоянии деревьев с их пространственным расположением и структурой посадок, на рисунке 3 категории санитарного состояния обследованных растений нанесены на схему объекта разными цветами, средние баллы по участкам обозначены цифрами.

Данные, приведенные на рисунке 3, показывают, что по всей территории объекта обследований, кроме центральной аллеи и групповых посадок на площадке в юго-западной части сквера, состояние насаждений сильно ослабленное (2,5-3,3 балла). У 33,5% обследованных деревьев зафиксированы стволовые гнили различной локации и степени проявления, а у 8% они трансформировались в явно выраженные дупла. Более половины деревьев (53,7%) имеют в кронах заметное количество усохших ветвей, 6,4% – сухостершинность, что связано с отсутствием регулярной санитарной обрезки крон. Механические повреждения стволов и ветвей отмечены у 24% обследованных деревьев.

Условия произрастания рядовых посадок яблони в центральной аллее отличаются от остальных участков сквера регулярным проведением мероприятий по уходу за насаждениями. Групповая посадка в юго-западной части сквера на 65% состоит из наиболее устойчивых для данного объекта видов деревьев: лиственница сибирская (46%), береза повислая (16%) и липа

Таблица 1. Биометрические показатели по преобладающим видам
Table 1. Biometrical indicators by dominant species

Наименование вида <i>Names of species</i>	Кол-во деревьев, экз <i>Number of trees, pcs</i>	Средние показатели / Average indicators			
		Возраст, лет <i>Age, years</i>	Диаметр, см <i>Diameter, cm</i>	Высота, м <i>Height, m</i>	Сан. сост., баллы <i>Health condition, score</i>
Клен ясенелистный (<i>Acer negundo L.</i>)	806	26	15,3	10,9	2,8
Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera L.</i>)	793	73	43,3	23,2	3,2
Ясень пенсильванский (<i>Fraxinus pennsylvanica Marsh.</i>)	233	63	18,2	10,2	3,0
Вяз гладкий и вяз шершавый (<i>Ulmus laevis Pall., Ulmus glabra Huds.</i>)	163	64	24,2	11,6	2,9
Яблоня ягодная и гибриды с другими видами яблонь (<i>Malus baccata (L.) Borkh., Malus X</i>) в центральной аллее / in the central alley	152	51	15,6	9,3	3,3
	90	50	23,6	7,6	2,1
Береза повислая и пушистая (<i>Betula pendula Roth., Betula pubescens Ehrh.</i>)	131	65	30,3	19	2,2
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata Mill.</i>)	110	67	30,6	17,4	2,4
Груша уссурийская (<i>Pyrus ussuriensis Maxim.</i>)	79	64	19,9	8,6	3,4
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica Ledeb.</i>)	47	64	30,3	17,4	2,0
Черемуха Маака (<i>Prunus maackii Rupr.</i>)	45	60	23	9,7	3,7

мелколистная (3%), а также имеет хорошие условия освещения со всех сторон.

При сопоставлении средних баллов санитарного состояния насаждений по участкам (рис. 3) с их видовым составом единственная существенная взаимосвязь обнаружена с долей тополя бальзамического в составе, коэффициент корреляции составляет 0,53 и свидетельствует о средней тесноте связи. Это объясняется как сравнительно плохим состоянием деревьев тополя бальзамического, так и их негативным воздействием на окружающие насаждения.

Установлено, что состояние насаждений никак не коррелирует с долей клена ясенелистного в составе. Это можно объяснить тем, что данный вид внедряется во взрослые посадки сравнительно недавно, еще не теряет жизнеспособность в силу возраста, но и не имеет существенного преимущества аллелопатии в конкурентной борьбе со взрослыми деревьями, чтобы повлиять на состояние других видов. Также не наблюдается ухудшение средних баллов санитарного состояния насаждений, прилегающих к проезжей части улиц Большакова и 8 Марта в сравнении с показателями по территории обследования в целом.

Отмершие деревья текущего и прошлых лет встречаются практически на всех участках, мероприятия по их удалению до осени 2022 г. не проводились. Усыхающие деревья также обнаружены на всей территории обследования, кроме центральной аллеи. Во многих случаях отмершие и усыхающие деревья расположены в непосредственной близости от растений в удовлетворительном состоянии, что свидетельствует об индивидуальных или очень локальных причинах ухудшения их состояния.

Для характеристики посадок различной структуры по плотности и степени внедрения клена ясенелистного данные по всем участкам сгруппированы в таблицу 2, номера и границы участков показаны на рисунке 4.

Более половины площади обследованных насаждений (55%) занято групповыми посадками. Около 25% приходится на сомкнутые массивы с неравномерной плотностью и без каких-либо заметных схем посадки. Еще 20% занимают рядовые посадки, структура которых нарушается выпадением отдельных деревьев и внедрением клена ясенелистного.



Рис. 3. Санитарное состояние обследованных деревьев на территории сквера и средние баллы по участкам

Fig. 3. Health condition of the surveyed trees in the garden square and the average scores for the plots

Таблица 2. Общая характеристика участков с различной структурой посадок по плотности и степени внедрения *Acer negundo*

Table 2. General characteristics of the survey site with different planting patterns in terms of density and degree of *Acer negundo* introduction

Структура посадок <i>Structure of planting</i>	Не прокашиваемые участки / <i>Non-mowed plots</i>			Прокашиваемые участки / <i>Mowed plots</i>		
	Номера участков <i>Numbers of plots</i>	Средние / <i>Average</i>		Номера участков <i>Numbers of plots</i>	Средние / <i>Average</i>	
		плотность посадки экз./га <i>Planting density, pcs/ha</i>	доля <i>Acer negundo</i> в составе, % <i>Proportion of Acer negundo, %</i>		плотность посадки экз./га <i>Planting density, pcs/ha</i>	доля <i>Acer negundo</i> в составе, % <i>Proportion of Acer negundo, %</i>
Группы / <i>Groups</i>	1, 6, 10, 12	422	50,1	4, 5, 14, 18, 23, 24	271	8,5
Ряды / <i>Lines</i>	7, 8, 9, 11	523	41,6	13, 15-17	129	0,8
Массивы / <i>Arrays</i>	2, 3	335	36,3	19-22	578	6,1
Итого / <i>Total</i>	X	411	44,8	X	298	6,8

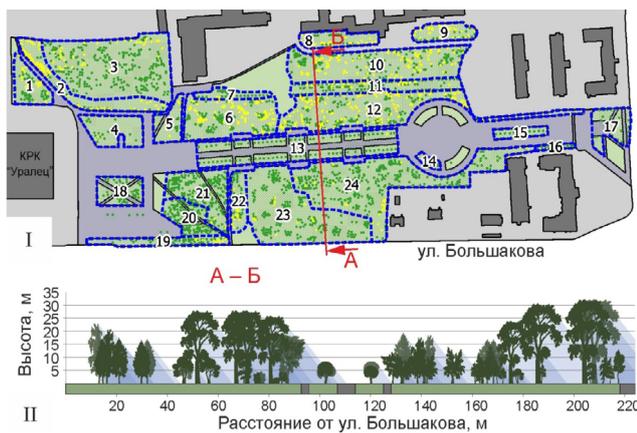


Рис. 4. Пространственная структура обследованных насаждений:

I – схема выделенных участков;

II – поперечный профиль по линии А-В

Fig. 4. Spatial structure of the surveyed plantings:

I – scheme of the selected plots;

II – transverse profile along the line A-B

Средняя плотность посадки по всем обследованным насаждениям составляет 354 дерева/га. В массивах этот показатель на 22% выше, в рядовых посадках на 19,2% ниже. В групповых посадках средняя плотность почти не отличается от аналогичного значения по объекту в целом. Таким образом, средняя плотность посадки деревьев по всей территории объекта превышает рекомендованные нормы для городских скверов в условиях лесной зоны [9] на 7%, а в массивах – более чем на 30%.

Избыточная плотность на участках групповых и рядовых посадок целиком обусловлена кленом ясенелистным, самосев которого занимает все непрокашиваемые пространства, что также приводит к изменению пространственной структуры, формированию вертикальной и горизонтальной сомкнутости. В массивах ввиду исходной высокой плотности посадок, сильного затенения и конкуренции распространение клена ясенелистного происходит несколько меньше.

Вертикальная структура обследованных насаждений представлена на рисунке 4 (II). Линейное планировочное решение сквера позволяет выделить на всей территории 3 основные части, отчетливо различающиеся по высоте и структуре насаждений:

1. Южная часть занята смешанными групповыми посадками и массивами (участки 18-24) со средними высотами от 15 до 25 м. Структура групповых посадок отчетливо прослеживается, горизонтальная и вертикальная сомкнутость неравномерная, с чередованием закрытых и полукрытых ТПС. Территория прокашивается, внедрение клена ясенелистного незначительное.

2. Центральная аллея представляет собой открытые пространства, разделенные рядовыми посадками формованных яблонь со средней высотой 7,6 м. В дневные часы южная часть аллеи имеет хорошее затенение, а центральная часть почти полностью освещается, что создает наилучшие условия для отдыха посетителей.

3. Северная часть (участки 1-12) занята массивами, групповыми и рядовыми посадками, за счет массового развития клена ясенелистного также приобретающими сплошную горизонтальную и вертикальную сомкнутость. Средняя высота насаждений составляет от 15 до 30 м, большая часть территории не прокашивается и имеет плохую проходимость и просматриваемость.

Чтобы дать адекватную оценку изложенных выше результатов исследований, важно учитывать различия в происхождении насаждений на отдельных участках, выявлять этапность формирования и трансформации рассматриваемой территории. Для этого местоположение всех обследованных древесных растений и некоторые элементы современной планировки были наложены с помощью ГИС-технологий на соответствующий фрагмент плана г. Свердловска 1959 г. издания (рис. 5).

Как следует из условных обозначений на плане (рис. 5), почти вся западная часть территории обследования, за исключением заболоченной поймы р. Монастырки, к началу 60-х гг. XX в. была занята молодыми посадками леса до 4 м высотой. Часть этих посадок сохранилась на двух обследованных участках до сих пор (рис. 5А, Ж) и представлена деревьями тополя бальзамического. На участке А также обнаружено небольшое количество старовозрастных деревьев сосны обыкновенной, оставшихся от массива Зеленой Рощи и показанных на плане 1959 г. как «редко-лесье» около больничного корпуса по адресу ул. 8 Марта, 78В.

Участок с южной стороны здания Свердловской ЦКБ по адресу ул. 8 Марта, 78 (сносно в 2022 г.), к началу 60-х гг. уже был благоустроен и озеленен, отдельные посадки показаны на плане 1959 г. (рис. 5Г). Южная часть обследованной территории вдоль ул. Большакова в это время была застроена жилыми деревянными домами. Кроме четырех брусковых коттеджей (ул. Большакова, 82А-86), на плане 1959 г. показано еще 3 деревянных здания (рис. 5З), которые к началу 70-х гг. были снесены, а участок присоединен к территории аллеи Дворца спорта. На участках З и К от озеленения придомовых территорий сохранились крупные тополя и единичные плодовые кустарники, хаотичное



Рис. 5. Наложение местоположения обследованных древесных растений и некоторых элементов современной планировки на фрагмент плана г. Свердловска 1959 г. издания
Fig. 5. Overlay of the surveyed woody plants and some elements of the modern layout on a fragment of the Sverdlovsk plan published in 1959

расположение которых контрастирует с групповыми посадками, созданными при благоустройстве зеленой зоны.

Вся территория, занятая на плане г. Свердловска 1959 г. руслом и поймой р. Монастырки, к концу 60-х гг. была полностью преобразована в результате строительства коллектора [10]. В начале 70-х гг. была сформирована современная планировка аллеи и созданы групповые посадки деревьев и кустарников (рис. 5Б, В, Д).

Немного позже остальных насаждений были созданы древесные группы на площади между зданием Дворца спорта и основной территорией аллеи (рис. 5Е). Часть их крупным планом показана на фоне фасада Дворца спорта на фотографии В. Дружкова [11], сделанной летом 1975 или 1976 г. Группа лиственниц создана крупномерными саженцами высотой до 5-6 м и возрастом не менее 15 лет. Все деревья прижились и покрыты зеленой хвоей, но кроны сильно ажурные, что свидетельствует об ослабленном состоянии после посадки. Часть запечатленных растений еще закреплена оттяжками. Последними в 80-е гг. были созданы рядовые посадки декоративных яблонь вдоль главной дороги объекта, соединяющей Дворец спорта с ул. 8 Марта, заменившие ранее существовавший газон.

Выводы

По приведенным выше сведениям в процессе формирования насаждений сквера у КРК Арена «Уралец» можно выделить 3 этапа.

1. До середины 60-х гг. XX в. происходит независимое формирование отдельных участков южнее и севернее поймы р. Монастырки с интеграцией естественных насаждений Монастырской рощи и озеленительных посадок тополя вдоль ул. 8 Марта.

2. С 1965 по 1970 гг. – полное преобразование ландшафта центральной части объекта, которое связано с созданием декоративных посадок на месте поймы р. Монастырки и формирование единого пространства сквера в современных границах.

3). В 80-е гг. XX в. завершается формирование пространства декоративными посадками на центральной аллее.

В настоящее время участки, где отмечены регулярные уходные работы (в первую очередь – кошение газона), сохраняют исходные групповые и рядовые типы посадок, а плотность соответствует рекомендованным нормативам озеленения – 300-330 шт./га. На участках без ухода исходные структуры посадок нарушены внедрением кле-на ясенелистного, и плотность превышает рекомендованную в среднем на 25%. Текущий этап представляет собой стадию сильного ослабления посадок, когда менее долговечные и устойчивые к городским условиям виды начинают отмирать.

Изученный сквер иллюстрирует еще один подход к формированию озелененных пространств в г. Екатеринбурге, когда новый объект ландшафтной архитектуры синтезируется из существующих ранее насаждений различного происхождения и функций. В результате полного преобразования ландшафта территории, разделявшей эти участки, появилась возможность объединения фрагментов новыми декоративными посадками. При реконструкции важно учитывать выявленные особенности структуры и состояния насаждений. Для сквера у КРК Арена «Уралец» наиболее благоприятной является поэтапная реконструкция: начиная с фрагментов с менее долговечными отмирающими видами деревьев и с сохранением посадок *Larix sibirica Ledeb.*, *Quercus robur L.*, *Tilia cordata Mill.* и *Betula pendula Roth.*

Список использованных источников

1. **Мамаев С.А.** Определитель деревьев и кустарников Урала. Местные и интродуцированные виды. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 256 с.
2. Правила санитарной безопасности в лесах: утв. Постановлением Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения: 08.04.2021).
3. **Луговых П.В.** Озеленение Свердловска. М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1959. 60 с.
4. **Семкина Л.А., Макрова О.Б., Яковлева С.В.** Состояние зеленых насаждений в г. Свердловске и на некоторых промышленных предприятиях // Экология и интродукция растений на Урале: Сборник научных трудов. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 81-93.
5. **Колесников А.И.** Декоративная дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 704 с.
6. **Рубцов Л.И.** Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре: Справочник. Киев: Наукова думка, 1977. 272 с.
7. **Коновалов Н.А., Луганский Н.А., Сродных Т.Б.** Деревья и кустарники для озеленения городов Урала: монография. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2010. 181 с.
8. **Семкина Л.А.** Долговечность интродуцированных древесно-кустарниковых растений в условиях Урала // Ботаника в современном мире: Труды XIV Съезда РБО и конференции. Махачкала: «АЛЕФ», 2018. Т. 2. С. 312-313.
9. Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации: Утв. приказом Госстроя РФ от 15 декабря 1999 г. № 153. URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-gosstroia-rf-ot-15121999-n-153/> (дата обращения: 04.11.2022).
10. **Служин В.М.** Гидрографические фантомы Екатеринбурга, или Реки, текущие из прошлого // Стройкомплекс Среднего Урала. 2007. № 11. С. 33-37.
11. **Дружков В.** Свердловск. Дворец спорта: открытка / Министерство связи СССР. М.: МПФГ, 1977.

Об авторах

Людмила Ивановна Аткина, д-р с.-х. наук, профессор; <https://orcid.org/0000-0001-8578-936X>; SPIN-код: 9309-1436; AuthorID: 263997; Atkina@mail.ru

Ульяна Александровна Сафронова, канд. с.-х. наук; <https://orcid.org/0000-0002-9514-2866>; SPIN-код: 4809-9549; Safronovaua@m.usfeu.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Аткина Л.И., Сафронова У.А. 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 03.07.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.12.2023

References

1. **Mamaev S.A.** Determinant of trees and shrubs of the Urals. Native and introduced species. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. 256 p.
2. Rules of sanitary safety in forests: approved. By Decree of the Government of the Russian Federation No. 2047 dated December 9, 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (date of address: 08.04.2021).
3. **Lugovykh P.V.** Landscaping of Sverdlovsk / P.V. Lugovykh. Moscow: Publishing House of Moscow, Ministry of municipal economy of the RSFSR, 1959. 60 p.
4. **Semkina L.A.** The state of green spaces in Sverdlovsk and at some industrial enterprises. / L.A. Semkina, O.B. Makarova, S.V. Yakovleva // Ecology and introduction of plants in the Urals: collection of scientific works. Sverdlovsk: Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1991. P. 81-93.
5. **Kolesnikov A.I.** Decorative dendrology / A.I. Kolesnikov. Moscow: Forestry industry, 1974. 704 p.
6. **Rubtsov L.I.** Trees and shrubs in landscape architecture: Reference book / L.I. Rubtsov. Kiev: Nauk. dumka, 1977. 272 p.
7. **Konovalev N.A.** Trees and shrubs for landscaping the cities of the Urals: monograph; 2nd ed., corrected and add. Yekaterinburg: UGLTU, 2010. 181 p.
8. **Semkina L.A.** Durability of introduced tree and shrub plants in the conditions of the Urals // Botany in the modern world: Proceedings of the XIV Congress of the RBO and Conference. Makhachkala: "ALEPH", 2018. Vol. 2. P. 312-313.
9. Rules for the creation, protection and maintenance of green spaces in the cities of the Russian Federation: approved by the order of the State Construction Committee of the Russian Federation dated 15.12.1999 N153. URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-gosstroia-rf-ot-15121999-n-153/> (accessed: 04.11.2022)
10. **Slukin V.M.** Hydrographic phantoms of Yekaterinburg, or Rivers flowing from the past // Construction complex of the Middle Urals. 2007. No. 11. P. 33-37.
11. **Druzhkov V.** Sverdlovsk. Sports Palace: postcard / Ministry of Communications of the USSR. M.: MPFG, 1977.

Author information

Lyudmila I. Atkina, doctor of agricultural sciences, professor; <https://orcid.org/0000-0001-8578-936X>; SPIN-код: 9309-1436; AuthorID: 263997; Atkina@mail.ru

Ulyana A. Safronova, candidate of agricultural sciences; <https://orcid.org/0000-0002-9514-2866> SPIN-код: 4809-9549; Safronovaua@m.usfeu.ru

Atkina L.I., Safronova U.A. 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/10.26897/1997-6011-2024-2-104-110>

УДК 630.22*:504.064.3(571.54/.55)



МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В РАЙОНЕ РАЗРАБОТКИ ТАСЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Т.В. Желибо, Е.А. Банщикова

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПРЭК СО РАН), г. Чита, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучение современного состояния видового состава и анализ флоры техногенно нарушенной территории Тасеевского месторождения, что послужит информацией для дальнейшего экологического мониторинга. В статье представлены результаты проведенного экологического исследования в районе разработки Тасеевского золоторудного месторождения Балецкого района Забайкальского края. Экологический мониторинг проводился на наиболее уязвимом компоненте природной среды с целью обеспечения экобезопасности объекта при реализации строительства комплекса кучного выщелачивания на базе техногенного месторождения отходов Балецкой ЗИФ-1 Забайкальского края. Изучалось современное состояние растительного покрова, проводился анализ флоры техногенно нарушенной территории Тасеевского месторождения. В рамках выполнения локального мониторинга золоторудного месторождения и его окрестностей было выделено 4 типа растительных комплексов: лесной, лугово-степной, прирусловой и синантропный. По результатам проведенных исследований было выявлено удовлетворительное состояние растительных сообществ. Установлен количественный показатель разнообразия, который составляет более 80 видов в границах отвода. Отмечаются виды, занесенные в Красную книгу Забайкальского края, произрастающие на фоновых участках данного месторождения. Зафиксировано изменение естественного растительного покрова на площади техногенно нарушенного ландшафта вследствие проведения промышленных работ: перемещения грунтовых масс, отсыпки и выемки грунта. Территория покрыта хаотичной сетью проселочных дорог, нарушающих грунтово-почвенный покров. Вдоль дорог развита овражная эрозия. Отмечается негативное влияние и снижение рекреационных экосистемных услуг Балецкого района ввиду производственной деятельности золоторудных предприятий (недостаточное формирование комфортной для населения окружающей среды). Прослеживается наличие синантропных сообществ на антропогенно нарушенном участке со следами свалок бытового мусора, сброса очистных вод, изменений микрорельефа в ходе промышленной разработки на р. Унда. В целом, несмотря на неблагоприятные факторы, сказывающиеся на растительном покрове, происходит адаптация растений к стрессовым ситуациям, все нарушенные участки способны к самовосстановлению.

Ключевые слова: современное состояние растительности, экологический мониторинг растительности, редкие виды растений, техногенно нарушенные земли, Тасеевское месторождение, Забайкальский край

Формат цитирования: Желибо Т.В., Банщикова Е.А. Мониторинг состояния растительности в районе разработки Тасеевского месторождения (Забайкальский край) // Природообустройство. 2024. № 2. С. 104-110. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-104-110>

Original article

MONITORING OF VEGETATION CONDITIONS IN THE AREA OF DEVELOPMENT OF THE TASEEVSKY DEPOSIT (ZABAIKALSKY KRAI)

T.V. Zhelibo, E.A. Banshchikova

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch (IPREC CO RAN), Chita, Russia

Abstract. The article presents the results of an environmental survey conducted in the development area of the Taseyev gold deposit of the Baleysky district of the Trans-Baikal Territory. Environmental monitoring was carried out on the most vulnerable component of the natural environment in order to ensure the environmental safety of the facility during the implementation of the construction of a heap leaching complex on the basis of the technogenic waste deposit “Baleyskoy ZIF-1” of the Trans-Baikal Territory. The current state of the vegetation cover was studied. An analysis of the flora

of the technogenically disturbed territory of the Taseevskoye field was carried out. As part of the local monitoring of the gold deposit and its environs, 4 types of plant complexes were identified – forest, meadow-steppe, near-river and synanthropic. According to the results of the study, a satisfactory state of plant communities was revealed. A quantitative indicator of diversity has been established, which is more than 80 species within the boundaries of the allotment. Species listed in the Red Book of the Trans-Baikal Territory, growing in the background areas of this field, are noted. A change in the natural vegetation cover on the area of the technogenically disturbed landscape was recorded as a result of industrial work – the movement of soil masses, dumping and excavation. The territory is covered by a chaotic network of country roads that disturb the soil and soil cover. Along the roads gully erosion is developed. There is a negative impact and a decrease in the recreational ecosystem services of the Baleisky district due to the production activities of gold mining enterprises (insufficient formation of a comfortable environment for the population). The presence of synanthropic communities in the anthropogenically disturbed area with traces of household waste dumps, sewage disposal, changes in the microrelief during industrial development on the river is traced Unda. In general, despite the adverse factors affecting the vegetation, plants adapt to stressful situations, all disturbed areas are capable of self-healing.

Keywords: current state of vegetation, ecological monitoring of vegetation, rare plant species, technogenically disturbed lands, Taseevskoye deposit, Zabaikalsky Krai

Format of citation: Zhelibo T.V., Banshchikova E.A. Monitoring of vegetation conditions in the area of development of the Taseevsky deposit (Zabaikalsky krai) // Prirodobustrojstvo. 2024. No 2. P. 104-110. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-104-110>

Введение. Тасеевское золоторудное месторождение находится в 2 км южнее города Балей в Забайкальском крае, в долине реки Унда [1]. Длительная разработка золоторудных месторождений является источником накапливаемого негативного воздействия на окружающую среду. Растительность – один из наиболее уязвимых компонентов природной среды [2]. Именно ее состояние является показателем изменений исследуемого района (Тасеевского месторождения). Снижение биоразнообразия способно отражаться на оказании экосистемных услуг. Биоразнообразие, подобно экосистемным услугам, нуждается в охране и рациональном управлении. С точки зрения экологической безопасности данная территория подвергается изменению [3]. С целью обеспечения экологической безопасности объекта при реализации строительства комплекса кучного выщелачивания на базе техногенного месторождения отходов Балейской ЗИФ-1 в Балейском районе Забайкальского края [4] проводится экологический мониторинг. Одной из его составляющих является мониторинг растительного покрова как самой территории разработок, так и прилегающих участков [5-7].

Экомониторинг нарушенных промышленностью земель заключается в сборе информации и создании базы данных для принятия стратегических и оперативных решений в системе управления деятельностью производственных предприятий, необходимых для обеспечения: экологической безопасности проектируемых и повышения экологической безопасности

существующих производственных объектов; для организации контроля за состоянием окружающей среды в целях предотвращения негативных изменений экологической обстановки; для прогнозирования изменения состояния природных экосистем в целях корректировки проектных решений и своевременной разработки защитных и компенсационных мер по охране окружающей среды. Мониторинг растительного покрова осуществляется в зоне воздействия объекта предприятия на постоянных пробных площадках [8].

Цель исследований: изучение современного состояния видового состава и анализ флоры техногенно нарушенной территории Тасеевского месторождения, что послужит информацией для дальнейшего экологического мониторинга.

Материалы и методы исследований. Работы по экомониторингу проводились в летний период 2020 г. сотрудниками ИПРЭК СО РАН. Было проведено маршрутно-рекогносцировочное обследование территории с целью детализации растительного покрова. Заложены пробные площадки в основных типах сообществ (ключевые мониторинговые площадки), встречающихся в районе исследований: по 2500 м² для лесных сообществ и по 100 м² для степных и антропогенно-нарушенных участков. На площадках выполнено описание растительности, оценено в целом состояние наземных экосистем, возможных источников и визуальных признаков нарушения растительных сообществ. Границы площадок были закреплены на местности с помощью системы спутниковой навигации.

Все этапы работ выполнены в соответствии с классическими методиками исследований [9-11]. В описании мониторинговых площадок указывались: видовой состав древостоя, подроста, подлеска, а также травяно-кустарничковой и мохово-лишайниковой растительности; наличие и состояние редких видов растений; участки нарушенной и/или деградированной растительности, гарей, восстановление растительного сообщества. Кроме того, учитывались наличие антропогенного и техногенного воздействия и стадии рекреационной дигрессии.

Согласно схеме природного районирования Читинской области район исследований входит в состав природного округа Верхне-Амурское среднегорье [12]. В соответствии с приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 4 февраля 2009 г. № 37 «Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации» Бале́йский район Читинской области относится к Забайкальскому горному лесному району [13].

По данным [14], на территории Бале́йского и Тасеевского золоторудного месторождений флористический состав рудеральных сообществ представляет собой 76% травянистых растений с преобладающим участием Бобовых, Астровых, Розовых, Ивовых и Мятликовых семейств. Наиболее распространены такие виды, как горошек приятный, донник ароматный и одуванчик рогатый. Из древесных растений высокой встречаемостью (более 50%) характеризуются сосна обыкновенная, лиственница Гмелина, береза повислая, ива Шверина, тополь бальзамический и душистый.

Результаты и их обсуждение. В рамках выполнения мониторингового обследования в районе разработки Тасеевского месторождения было выделено 4 типа растительного комплекса: лесной, лугово-степной, прирусловой и синантропный, в каждом из которых были заложены пробные площадки и проведен флористический анализ.

В верховьях долин ручьев Холбонский и Кибирева, в лесном комплексе, произведена закладка фоновых площадок. Площадки, заложенные в ненарушенных лесных сообществах (березово-разнотравном и березово-кустарничковом), характеризуются следующими особенностями: спелый древостой возрастом 60-70 лет, сомкнутостью крон 60-70%, с преобладанием *Betula pendula* Roth и единичным стоянием *Populus tremula* L. и *Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr., средней высотой 15 м и диаметром в пределах от 20 до 24 см. Состав насаждений – 9Б1Ос. По данным

лесохозяйственного регламента Бале́йского лесничества [15], средний запас на 1 га эксплуатационного фонда березы составляет 93 м³. Встречается подрост *Betula* (8 тыс. шт/га, средней высотой 2 м), *Populus tremula* (5 тыс. шт/га, средней высотой 2,5 м) и *Alnus* (3 тыс. шт/га, средней высотой 2 м) с рассеянным характером произрастания. Жизненное состояние деревьев оценено по категории «Здоровые». Состав подлеска формируется из различного сочетания нескольких кустарников (с проективным покрытием 30-40%, высотой 0,5-2,0 м), имеющих пищевое и лекарственное значение: *Padus avium* Miller, *Crataegus sanguinea* Pallas, *Malus baccata* (L.) Borkh., *Lonicera pallasii* Ledeb., *Ribes spicatum* Robson, *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz, *Rosa acicularis* Lind. Кроме того, встречаются красивоцветущие: *Swida alba* (L.) Opiz, *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br., *Spiraea media* Franz Schmidt и *S. salicifolia* L., *Salix abscondita* Laksch. Перечисленные виды кустарников относятся к группе растений-мезофитов (или мезоксерофитов), произрастающих на суглинистых, слабоуплотненных почвах лесного массива. Травянистый покров в исследуемых типах сообществ развит хорошо и имеет общее проективное покрытие до 70% (из них мертвого напочвенного покрова – 20%). Мох встречается в пределах 1-3% на валеже и у подножия деревьев. Валеж на площадке, образованный в результате ветровала (степень распада – средняя), является источником органического вещества в почве и на ее поверхности, а также хорошим субстратом для произрастания новых растений (например, подроста).

Лугово-степной комплекс представляет собой закустаренно-разнотравные сообщества, характерными особенностями которого являются наличие единично произрастающих древесных пород *Betula pendula*, редко встречающийся ее подрост высотой 1,5 м. Эдификатором кустарничкового яруса являются *Salix bebbiana* Sarg. и *caprea* L., *Spiraea media*, *Rosa acicularis*, изредка – *Padus avium*. Кустарники по площади распределены неравномерно. Травяно-кустарничковый покров в данном типе сообществ развит хорошо и имеет общее проективное покрытие до 80% (из них мертвого напочвенного покрова – 25%). Моховой покров развит в средней степени (не более 3%), встречается на почве. Почвы супесчаные, с поверхности сухие.

В прирусловом комплексе характерной особенностью участка являются следы временного затопления водами от р. Унда. Почвы влажные, местами сырые. Древесный породный состав представлен молодняками: *Betula pendula*, *Alnus*.

Состав насаждений – 10Б+Олх. Подрост встречается реже: *Betula* (2 тыс. шт/га, средней высотой 1 м) и *Populus tremula* (1 тыс. шт/га, средней высотой 2 м), с рассеянным характером произрастания на площадке. Из кустарников встречаются *Salix schwerinii* E. Wolf, *Swida alba*, *Padus avium*, *Malus baccata*, единично – *Crataegus sanguinea*, *Ribes spicatum* и *Ribes diacantha* Pall., а также *Rosa acicularis*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса развито слабо – до 10%, средней высотой 10 см. Моховой покров развит в слабой степени, его покрытие составляет менее 1%, в основном встречается на земле.

На техногенно нарушенных территориях, в приурловом комплексе р. Унда, в синантропном сообществе растительность сформирована на отвалах горных пород прежних лет. Почвы каменистые, с поверхности сухие. Древесный породный состав представлен: *Populus suaveolens* Fischer, *Chosenia arbutifolia* (Pallas) A. Skvortsov, *Populus tremula*, единично – *Pinus sylvestris* L., *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. и *Betula pendula*. Формула древостоя: 8Ч1С1Б+Ос. Подрост: *Betula pendula* (7 тыс. шт/га, средней высотой 1 м) и *Populus tremula* (3 тыс. шт/га, средней высотой 2 м), с рассеянным характером произрастания на площадке. Из кустарников встречается *Salix miyabeana* Seemen. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса развито слабо – до 20%, средней высотой 25 см. Моховой покров развит в слабой степени, его покрытие составляет не более 1%, в основном встречается на земле.

На хвостохранилище сформировалась синантропная растительность. Древесный породный состав представлен *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, единично – *Populus suaveolens*. Возраст хвойных древесных пород составляет

20-30 лет, лиственных – 15-20 лет. Формула древостоя: 10С+Б+Ос. Встречается подрост *Pinus sylvestris* (13 тыс. шт/га, средней высотой 1,5 м), с рассеянным характером произрастания на площадке, реже – *Betula* (1 тыс. шт/га, средней высотой 2,0 м). Кустарниковый ярус не выявлен. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – до 15%, средней высотой 15 см. Мохово-лишайниковый покров развит в средней степени, его покрытие составляет 10-15%, в основном встречается на земле.

Антропогенно-нарушенная территория сформирована рудеральными сообществами. На территории нежилых построек произрастают *Betula pendula*, *Chosenia arbutifolia*. Кустарниковый ярус представлен *Salix schwerinii*, *Padus avium*, *Spiraea media*. Травостой имеет проективное покрытие – 30-50%, средней высотой 35 см. Мохово-лишайниковый покров не обнаружен. В сообществах, примыкающих к Тасеевскому обводненному хвостохранилищу, размещенному в пригородной части города Балеи, на антропогенно-нарушенной территории (жилые постройки) древесный ярус представлен *Populus suaveolens*. Из кустарников на данном участке произрастают *Salix schwerinii*, *Padus avium*. Травяно-кустарничковый ярус имеет проективное покрытие 50-60%, средней высотой 30 см. Мохово-лишайниковый покров не обнаружен.

Всего в рамках выполнения локального мониторинга было обнаружено более 80 видов растений, которые распределены по ярусам (рис. 1). Для детальной характеристики фитоценоза проведена ярусность, которая представляет собой одну из основных особенностей фитоценоза, возникающую в процессе естественного подбора различных форм для совместной жизни.

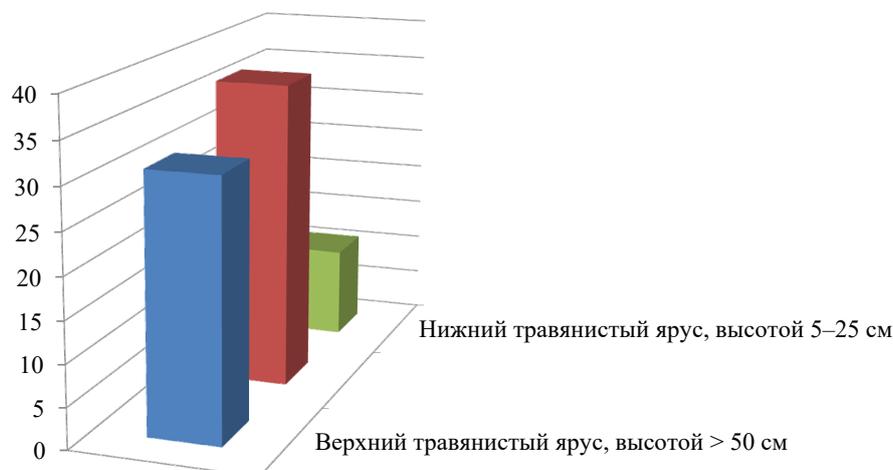


Рис. 1. Вертикальная структура травяно-кустарничковой растительности на мониторинговых пробных площадях

Fig. 1. Vertical structure of grass-shrub vegetation on monitoring test areas

На пробных площадях для оценки степени участия отдельных видов в травостое использовалась шкала относительного обилия Друде (с дополнениями А.А. Уранова), которая представлена на рисунке 2.

В среднем состояние лесных сообществ оценивается как удовлетворительное в соответствии с условиями района произрастания. Растения проходят полный цикл развития. Отмечен подрост основных древесных пород. Моховой покров был зафиксирован у подножия деревьев и на валеже (до 3%). Наличие валежа и степень его разложения свидетельствуют о ветровалах давних лет. Выявлено антропогенное воздействие. Участок имеет следы рекреационной дигрессии (сломаные ветви деревьев и кустарников). Почва сохраняет свои естественные качества.

На прирусловую растительность оказывает негативное воздействие периодическое затопление водами р. Унда, а также автотранспорт с прилегающей дорожной сети.

Состояние растительности, произрастающей на хвостохранилище, отвалах горных пород прежних разработок, удовлетворительное. Имеется подрост основных древесных пород с рассеянным характером произрастания. Кустарниковый ярус не выражен либо находится в усыхающем состоянии. Травяно-кустарничковый ярус развит слабо. Растительность участка проходит все стадии своего развития. Наблюдаются фенологические фазы: вегетация, бутонизация, цветение, семеношение. Мохово-лишайниковый покров развит в средней степени, его покрытие составляет 10-15%, в основном встречается на земле.

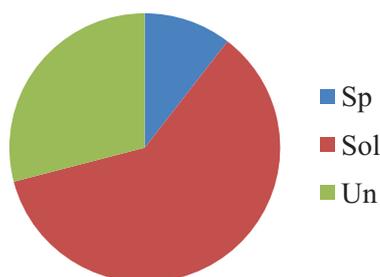


Рис. 2. Оценка проективного покрытия растительности на мониторинговых пробных площадях:

Sp (sparsae) – растения встречаются рассеянно (в небольшом количестве);

Sol (solitariae) – растения встречаются единично (в очень небольшом количестве);

Un (unicum) – встречаются 1-2 экземпляра

Fig. 2. Assessment of the projective vegetation coverage on monitoring test areas:

Sp (sparsae) – plants are found scattered (in small numbers);

Sol (solitariae) – plants occur singly (in very small numbers);

Un (unicum) – there are 1-2 instances

Антропогенное воздействие – разветвленная дорожная сеть, остатки бытового мусора.

Состояние растительности на антропогенно-нарушенной территории оценивается как удовлетворительное. Растительность участка проходит полный цикл развития. Мохово-лишайниковый покров не развит. Следствием антропогенного воздействия являются: жилые и хозяйственные постройки, а также застройки прежних лет; разветвленная дорожная сеть; сеть линий электропередач; следы бытового мусора.

В междуречье верховьев ручьев Кибирева и Холбонский были отмечены виды, включенные в Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края [16]: *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Misch. и *Convallaria keiskei* Miq., а также на остепенном склоне выше ручья Холбонский – *Cotoneaster mongolicus* Rojark. Виды имеют категорию статуса «редких» и «уязвимых», численность которых сокращается в результате чрезмерного использования человеком.

Растительность исследуемого района в разной степени затронута антропогенным воздействием. Отмечены следы свалок бытового мусора, сброса очистных вод, изменение микрорельефа в ходе промышленной разработки на реке Унда.

Выводы

В ходе проведенного экомониторинга было выявлено удовлетворительное состояние растительных сообществ. Количественный показатель разнообразия составляет 79 видов. Флористический состав включает в себя ряд пищевых (*Crataegus sanguinea* Pallas, *Rosa acicularis* Lind.), лекарственных (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz, *Sanguisorba officinalis* L.), декоративных (*Swida alba* (L.) Opiz, *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.) и других видов растений. Обнаруженные виды, включенные в Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края, произрастают на фоновых участках. Естественный растительный покров на площади отвода под строительство кучного выщелачивания на базе техногенного месторождения отходов Балейской ЗИФ-1 нарушен перемещением грунтовых масс, отсыпками и выемками грунта; территория покрыта сетью проселочных дорог, нарушающих грунтово-почвенный покров. Вдоль дорог местами развита овражная эрозия. Нарушенные участки способны к самовосстановлению.

Рекреационные экосистемные услуги Балейского района снижены ввиду

производственной деятельности золоторудных предприятий. Для снижения негативного воздействия на растительный покров рекомендуется осуществлять тщательный и объективный государственный мониторинг за действиями недропользователей; обязать их принимать меры по предотвращению и уменьшению негативных

последствий изменений состояния окружающей среды, максимально бережно воздействовать на почву и растительный покров при осуществлении производственной деятельности; не допускать образования эрозии почвы при формировании антропогенных форм рельефа в результате разработки месторождений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, тема № 121032200126-6

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, topic No. 121032200126-6

Список использованных источников

1. Юргенсон Г.А., Шумилова Л.В., Хаткова А.Н. Золотоносные хвосты комбината «Балейзолото»: проблема утилизации // Вестник ЗабГУ. 2021. Вып. 24. № 4. С. 45-54.
2. Бубнова М.Б., Озарян Ю.А. Комплексная оценка воздействия горнодобывающих предприятий на окружающую среду // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 2. С. 188-198.
3. Логвиненко К.С., Логвиненко О.А. О необходимости экономической оценки экосистемных услуг в проектах по освоению недр // Уральская горная школа – регионам: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Екатеринбург, 24-25 мая 2021 г. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного горного университета, 2021. 393 с.
4. Балейский рудный узел. [Электронный ресурс]. URL: <https://russdragmet.ru/главная/активы/балейский-рудный-узел/> (дата обращения: 23.09.2022).
5. Рябухина М.В., Михайлова Е.С. Мониторинг почвенно-растительных комплексов на землях лесного фонда в зоне влияния ОНГКМ и правовое регулирование природоохранной деятельности // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 5 (61). С. 131-134.
6. Zheleznova G.V. Monitoring of Vegetation Development in Technogenically Disturbed Areas of the Usinskoe Oil Field / Kuznetsova E.G., Evdokimova T.V., Turubanova L.P. // Russian Journal of Ecology. 2005. № 36. Pp. 243-248. doi.org/10.1007/s11184-005-0068-0.
7. Andreyashkina N.I. Composition of plant communities in natural and technogenically disturbed ecotopes on watersheds of the Yamal Peninsula: Floristic diversity // Russian Journal of Ecology. 2012. № 43. Pp. 19-23. doi.org/10.1134/S1067413611060038.
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования к рекультивации нарушенных земель. [Электронный ресурс]. URL: https://inform-raduga.ru/sites/all/files/gost_r_59057-2020.pdf (дата обращения: 12.10.2022).
9. Алехин В.В., Сырейщиков Д.П. Методика полевых ботанических исследований. Вологда: Изд-во Северный печатник, 1926. 69 с.
10. Методология исследования лесных экосистем: методическое пособие / Под общ. ред. Е.Н. Пилюшко. Вологда-Молочное: Изд-во ИЦ ВГМЦА, 2013. 103 с.

References

1. Yurgenson G.A., Shumilova L.V., Khatkova A.N. Gold-bearing tailings of the Baleizoloto plant: the problem of utilization // Vestnik ZabSU. 2021. Issuep. 24. № 4. P. 45-54.
2. Bubnova M.B., Ozaryan Y.A. Comprehensive assessment of the impact of mining enterprises on the environment // Physico-technical problems of mining. 2016. № 2. P. 188-198.
3. Logvinenko K.S., Logvinenko O.A. On the need for economic assessment of ecosystem services in projects for the development of mineral resources. Sci. – Prakt. Conf. Yekaterinburg, May 24-25, 2021. Yekaterinburg: Ural State Mining University Publ., 2021. P. 393.
4. Baleyskiy rudnyy uzel [Elektronnyi resurs]. URL: <https://russdragmet.ru/home/assets/baleisky-ore-node/> (accessed: 23.09.2022)
5. Ryabukhina M.V., Mikhailova E.S. Monitoring of soil and plant complexes on the lands of the forest fund in the zone of influence of the ONGCF and legal regulation of environmental activities // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2016. № 5(61). P. 131-134.
6. Zheleznova G.V., Monitoring of vegetation development in technogenically disturbed areas of the Usinskoe oil field / Kuznetsova E.G., Evdokimova T.V., Turubanova L.P. // Russian journal of ecology. 2005. № 36. P. 243-248. doi.org/10.1007/s11184-005-0068-0.
7. Andreyashkina N.I. Composition of plant communities in natural and technogenically disturbed ecotopes on watersheds of the Yamal Peninsula: Floristic diversity // Russian Journal of Ecology. 2012. № 43. P. 19-23. doi.org/10.1134/S1067413611060038
8. Interstate standard GOST 59057-2020 “Environmental protection. Land. General requirements for the reclamation of disturbed lands” [Elektronnic resource]. URL: https://inform-raduga.ru/sites/all/files/gost_r_59057-2020.pdf (accessed: 12.10.2022).
9. Alekhin V.V., Syreyshchikov D.P. Methods of field botanical research]. Vologda: Severny Pechatnik Publ., 1926.69 p.
10. Methodology of forest ecosystem research: Methodological manual edited by E.N. Pilipko. Vologda-Molochnoye: IC VGMCA Publ., 2013.103 p.
11. Flora of Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988-2003. T. 1-14.
12. Types of terrain and natural zoning of the Chita region / ed. by S.D. Popov. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences, 1961.157 p

11. Флора Сибири. Новосибирск: Изд-во Наука, 1988-2003. Т. 1-14.

12. Типы местности и природное районирование Читинской области / Под общ. ред. С.Д. Попова. М.: Изд-во Академии наук, 1961. 157 с.

13. Об утверждении перечня зон лесных насаждений и лесных районов Российской Федерации: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 4 февраля 2009 г. № 37. [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minselkho-za-rf-ot-04022009-n-37/> (дата обращения: 10.10.2022).

14. Макаров В.П. Флористический состав рудеральных сообществ Балейского и Тасеевского золоторудных месторождений // Эволюция биосферы и техногенез: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 35-летию ИППЭЖ СО РАН. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2016. С. 156-159.

15. Об утверждении лесохозяйственного регламента Балейского лесничества: Приказ Министерства природных ресурсов Забайкальского края от 29 декабря 2018 г. № 93-н/п. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/553219538> (дата обращения: 06.02.2024).

16. Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края: Постановление Правительства Забайкальского края, с изменениями на 28 августа 2018 г. № 350 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550189017> (дата обращения: 02.02.2024).

Об авторах

Татьяна Витальевна Желибо, младший научный сотрудник лаборатории географии и регионального природопользования; ORCID: 0000-0002-4444-2463; Scopus: 57221951740; PИHЦ ID: 627000; WOS Research ID: AAZ-4061-2020; zhelibo@mail.ru

Екатерина Анатольевна Банщикова, младший научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-7206-4893; Scopus: 57426843900; PИHЦ ID: 774633; WOS Research ID: AAF-6271-2021; kait1986@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Желибо Т.В., Банщикова Е.А. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have contributed equally to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.07.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 12.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.12.2023

13. Order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation of February 4, 2009 No. 37 "On Approval of the list of forest plantation zones and forest districts of the Russian Federation" [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of February 4, 2009 No. 37 (accessed: 10.10.2022)].

14. **Makarov V.P.** Floristic composition of the ruderal communities of the Baleyskoe and Taseevsky gold ore deposits // "Evolution of biosphere and technogenesis": collection of materials of the All-Russian conference with the international participation dedicated to the 35th anniversary of INREC SB RAS. Ulan-Ude: Buryat Scientific Center SB RAS Publishing House. 2016. P. 156-159.

15. Order of the Ministry of Natural Resources of the Trans-Baikal Territory dated December 29, 2018 N93-n/p "On Approval of the forestry regulations of the Baleisky Forestry". URL: <https://docs.cntd.ru/document/553219538> (accessed: 06.02.2024).

16. Decree of the Government of the Trans-Baikal Territory with Amendments on August 28, 2018 No. 350 "On Approval of the list of plant world objects listed in the Red Book of the Trans-Baikal Territory" [Resolution of the Government of the Trans-Baikal Territory with Amendments on August 28, 2018 No. 350 "On Approval of the List of Plant World Objects Listed in the Red Book of the Trans-Baikal Territory"]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550189017> (accessed: 02.02.2024).

Author information

Tatyana V. Zhelibo, junior researcher of the laboratory of geography and regional nature management; ORCID: 0000-0002-4444-2463; Scopus: 57221951740; PИHЦ ID: 627000; WOS Research ID: AAZ-4061-2020; zhelibo@mail.ru

Ekaterina A. Banshchikova, junior researcher; ORCID: 0000-0002-7206-4893; Scopus: 57426843900; PИHЦ ID: 774633; WOS Research ID: AAF-6271-2021; kait1986@mail.ru

Zhelibo T.V., Banshchikova E.A. performed theoretical and practical 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/10.26897/1997-6011-2024-2-111-116>

УДК 631.92:502/504



ЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Ю.С. Черятова , А.Ф. Джафарова, А.И. Гресько

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

Аннотация. В статье рассматриваются актуальность и значимость изучения управления ландшафтами в целях повышения сохранения биоразнообразия и экологически устойчивого использования природных ресурсов. Показана необходимость разработки современных методов мониторинга природной среды посредством ландшафтной индикации. Цель исследований – разработка методологических основ ландшафтной индикации, выделение ее типов и уровней. В результате проведенных исследований определены и охарактеризованы предметный, номологический и модельный типы ландшафтной индикации. На основе системного анализа выделены следующие уровни ландшафтной индикации: оценочный, прогнозный, результирующий, интеграционный. Показано, что ландшафтная индикация может выступать в качестве базового метода оценки природной территории по степени благоприятствования для проведения различных хозяйственных работ. Для решения всего спектра задач отраслевого развития народного хозяйства в ландшафтно-индикационных исследованиях необходимо руководствоваться принципами целостности, комплексности и системности.

Ключевые слова: ландшафтная индикация, природопользование, природные ресурсы, охрана природной среды, экология

Формат цитирования: Черятова Ю.С., Джафарова А.Ф., Гресько А.И. Ландшафтная индикация в решении задач природопользования // Природообустройство. 2024. № 2. С. 111-116. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-111-116>

Original article

LANDSCAPE INDICATION IN SOLVING THE PROBLEMS OF NATURE MANAGEMENT

Yu.S. Cheryatova , A.F. Jafarova, A.I. Gresko

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

Abstract. The paper discusses the relevance and importance of studying landscape management in order to increase the conservation of biodiversity and the environmentally sustainable use of natural resources. The necessity of developing modern methods of monitoring the natural environment by means of landscape indication is shown. The purpose of the research is to develop the methodological foundations of landscape indication, to identify its types and levels. As a result of the research carried out, the subject, nomological and model types of landscape indication were determined and characterized. On the basis of system analysis, the following levels of landscape indication have been identified: evaluative, predictive, resulting, and integration. It is shown that landscape indication can act as a basic method for assessing a natural area according to the degree of favorable conditions for various economic activities. To solve the entire spectrum of tasks of the sectoral development of the national economy in landscape-indicative studies, it is necessary to be guided by the principles of integrity, complexity and consistency.

Keywords: landscape indication, nature management, natural resources, environmental protection, ecology

Format of citation: Cheryatova Yu.S., Jafarova A.F., Gresko A.I. Landscape indication in solving the problems of nature management // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 2. P. 111-116. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-111-116>

Введение. Управление ландшафтами в целях биологического сохранения и экологически устойчивого использования природных ресурсов является важнейшей глобальной проблемой [1, 2]. Ландшафтная индикация представляет собой совокупность методов оценки

состояния природно-территориальных комплексов, отдельных их компонентов и протекающих в них процессах по легкодоступным для непосредственного наблюдения компонентам или аэрофотоснимкам. Благодаря ландшафтной индикации можно определить геологические, гидрогеологические, гидрологические, почвенные и климатические условия, а также последствия хозяйственной деятельности человека по внешнему облику ландшафта, по отдельным его составляющим, его компонентам и входящим в них элементам (растениям, формам рельефа и т.д.).

Идеи ландшафтной индикации и ее методы к настоящему времени проникли во все области знаний о Земле. Оперативность и достоверность ландшафтной индикации выдвинули ее в число научных методов, обеспечивающих современную фазу научно-технического прогресса в вопросах регистрации, прогнозирования, оценки качества природной среды, индикации условий жизни населения. Объективная реальность наших дней – консолидация ландшафтного анализа, ландшафтной индикации, дешифрования аэро- и космоснимков.

История становления и развития ландшафтной индикации, ее современное состояние показывают, что ландшафтно-индикационные оценки и прогнозы являются необходимой и надежной основой развития скоростных методов комплексного изучения и картографирования природной среды и естественных ресурсов. Ландшафтно-индикационные исследования в настоящее время приобрели ряд особенностей, возникновение которых обусловлено как общей направленностью развития науки, так и запросами народного хозяйства.

Одной из важнейших черт ландшафтной индикации является то, что она стала необходимым и существенным звеном в большей части дистанционных исследований. В работах последних лет обосновывается необходимость выявления новых типов индикационных связей и индикаторов, отражающих появление объектов индикации, обусловленных антропогенной трансформацией природы, развитием и совершенствованием природопользования, разработкой мер по охране природной среды, оптимизации функционирования геотехнических систем [3-6]. Наряду с типологическим картографированием повысилось внимание ученых к индикационному районированию, при котором на основании географических особенностей распространения индикаторов и обобщения типологических индикационных карт выделяются региональные таксоны, характеризующие определенные условия распространения объектов индикации [7].

Большое значение в настоящее время имеет также изучение индикационных связей, их зависимости от суммы экологических и географических факторов [8, 9].

Таким образом, специфика ландшафтной индикации заключается в том, что имея в целом прикладную направленность, она опирается на накопленную солидную теоретико-методическую базу.

Одной из теоретических задач ландшафтной индикации является изучение методов индикации при интенсивном хозяйственном использовании природных ресурсов с целью оптимизации разработки мероприятий по рациональному их использованию и охране. Поэтому целью работы стали разработка методологических основ ландшафтной индикации, выделение ее типов и уровней. Унификация понятийного аппарата ландшафтной индикации будет также способствовать разработке и усовершенствованию методов ландшафтной индикации.

Цель исследований: разработка методологических основ ландшафтной индикации, выделение ее типов и уровней.

Материалы и методы исследований. В качестве материала исследований использовали методические разработки и научную литературу в области информатизации ландшафтной индикации. Объектом исследований послужили индикаторы природных ресурсов ландшафтной индикации. Методическую основу работы составлял сравнительный и системный анализ индикационных связей объектов индикации.

Результаты и их обсуждение. Ландшафтные изменения можно анализировать с помощью многих качественных и количественных методов. В этом отношении важность информации о земном покрове вытекает из того факта, что любое изменение в составе и/или конфигурации земного покрова может использоваться в качестве экологического индикатора на уровне ландшафта. Поэтому правильное понимание пространственных и временных характеристик этого атрибута окружающей среды имеет жизненно важное значение, поскольку оно позволяет специалистам, принимающим решения, выявлять причины экологических проблем и справляться с последствиями неэффективного управления [10].

Структурно-функциональному и методологическому сближению различных направлений ландшафтной индикации способствуют формализация представлений на уровне семантики и анализ аппарата понятий, терминов, дефиниций. Совершенно очевидно, что центром, вокруг которого формируется понятийная система,

служат разработанные в последние годы базисные понятия ландшафтной индикации. При этом возможными являются установление новых связей между давно сложившимися понятиями и дополнение их новым содержанием, что не противоречит принципам создания и упорядочения терминологии и способствует созданию целой понятийной системы.

Интегративные свойства индикации являются объективным условием ее перехода на более высокий уровень теоретико-практической деятельности. Важнейшим основанием этого является применение экстраполяции, которая проявляется в таких формах, как перенос знания из одной предметной области действительности в другую, от части объекта на весь объект при отсутствии или трудоемкости средств ее непосредственного познания и наличии оснований для переноса.

Особенность современного этапа развития индикации заключается во вхождении ее в такие специфичные методы географических исследований, как ландшафтное картографирование, моделирование, натурный эксперимент, прогноз природно-антропогенных процессов и явлений [11-13]. При этом имеет место переход от геоиндикации (изучение геологического строения, подземных вод, рельефа, почв, отдельных типов лугов, болот, агроландшафтов) к ландшафтной индикации, которая определяется чаще всего как вид комплексной индикации, включающей в себя индикацию не только межкомпонентную, но и комплексную, оперирующую внешним облаком ландшафтных систем типа фаций, урочищ, местностей и их сочетаниями. При таком подходе ландшафт выступает и как объект исследования (анализ структур и ландшафтно-формирующих процессов), и как инструмент исследования, индикатор состояния среды и воздействующих на природу хозяйственных структур.

Уточнение и унификация понятийного аппарата ландшафтной индикации требуют однозначного толкования базовых терминов. К их числу относится понятие «ландшафтный индикатор», который на первом этапе включал в себя виды растений, животных, их сообщества, формы рельефа, другие элементы природно-территориального комплекса (ПТК), характеризующие своими свойствами определенные процессы в ландшафте и позволяющие судить о его состоянии без проведения специальных исследований.

На современном этапе изучения следует использовать комплексные ландшафтные индикаторы: закономерные сочетания определенных форм рельефа и растительного покрова ПТК разного уровня сложности и их сочетаний,

повторяемость, встречаемость в определенных границах. В роли индикаторов учеными все шире используются физические явления, химические вещества, организмы, иницируются поведение, потенциальные достоинства, физические условия, характерные изменения свойств среды [14-17]. Однако принципиальная основа индикационных исследований, несмотря на изменения объема уровня индикатора, остается неизменной – это установление связи в системе «Индикатор-объект индикации» на любом этапе познания: от эмпирической констатации связи до физических механизмов ее реализации.

В настоящее время индикаторы подразделяются на частные и комплексные, включающие в себя экологические связи растительности и ландшафтно-генетические ряды. Принципиальное значение имеет развитие представлений об уровнях индикаторов ландшафтно-индикационных исследований – в частности, при оценке природных условий, которая все больше обретает черты ландшафтной индикации.

Суть метода ландшафтной индикации в его приложении к познанию взаимосвязанных объектов природы, хозяйства заключается прежде всего в распространении знания о части объекта или его структурного элемента на весь объект природопользования. При этом необходимо учитывать единство и экстраполятивность системы естественно-научного знания, реализуемого в комплексных программах и разрабатываемых проектах. Основаниями для такого переноса являются возможности расширения границ применимости метода и распространения его на такие научно-познавательные процессы, как:

- ландшафтно-индикационная интерпретация всей полученной в процессе создания Генсхемы (или проекта) территориальной комплексной схемы охраны природы (ТерКСОП) информации с учетом выявленного структурного и функционального сходства геосистем, их геометрического (топологического) подобия и т.д.;

- создание на единой ландшафтной основе отраслевых тематических карт, оформление их взаимосвязанной и пространственно-сопоставимой серии;

- создание схемы комплексного природного районирования, согласованных схем отраслевого разграничения и увязанной с ними схемы природно-хозяйственного зонирования, в чем проявляется интегративная функция ландшафтной индикации;

- разработка на основе ландшафтно-экологической концепции рационального природопользования и охраны естественных ресурсов всей системы проектных документов;

- осуществление на основе ландшафтной индикации поиска предметных причинных связей, в том числе прямых, опосредованных, косвенных (засоление – нормы орошения, плотность населения – затраты на озеленение, размещение животноводческих комплексов – качество воды в водоемах, показатели залесенности – возможности рекреации).

В обширной и разноплановой методике ландшафтной индикации в настоящее время можно выделить несколько ее типов. Предметный тип предполагает расширение предметной области ландшафтной индикации на уровне научного познания. Это относится к индикации и свойств объектов, и процессов, происходящих в обширном классе природно-хозяйственных (природно-технических) элементов, территориальных формирований, геотехнических систем, инфраструктурных, водохозяйственных, горно-геотехнических, водно- и лесомелиоративных, агрокультурных и др. Объектами индикации становятся все антропогенные в широком смысле ландшафты, а происходящие в них многообразные изменения, процессы сводятся к нескольким основным типам, четко увязанным с определенными классами природно-хозяйственных систем и типами воздействия.

Номологический тип ландшафтной индикации связан с экстраполяцией данных метода с учетом характерных параметров и особенностей каждого вида индикации, число которых достаточно велико. Формирование индикации природопользования основывается на знании механизма интеграции природных, социальных, технических систем и отражает сложное и противоречивое взаимодействие, взаимовлияние природного базиса хозяйствования и закономерностей региональной экономики. Ландшафтная индикация отражает при этом существование двух механизмов экстраполяции:

1. параметризации, представляющей собой поиск специфических нормативов, новых дополнительных условий (например, антропогенных процессов), типов и норм технических воздействий, технологии, форм регулирования и управления;

2. физикализации, то есть объяснения всех индуцируемых антропогенных явлений (засоление, загрязнение, ксерофитизация, подтопление, эрозия и т.д.) на основе универсальных физических и химических процессов, прежде всего – обмена веществом и энергией.

Модельный тип ландшафтной индикации – синтетический тип, используемый при переносе информации с модели на оригинал

с учетом физических условий подобию. Виды модельной индикации основаны на наличии структурного сходства между рассматриваемыми объектами природопользования, но зависят как от близости ландшафтных структур, так и от сходства техногенного воздействия, трансформирующего первичную природную основу. При этом вступает в силу необходимость выявления и конкретизации хозяйственно значимых свойств объектов. Важнейшие экологические принципы хозяйствования – соответствия (природно-антропогенной совместимости) и рационального ограничения (для сохранения устойчивости функционирования) – выступают как регулятивные. Модельный тип ландшафтной индикации природопользования необходим в качестве средства научного обоснования при создании схем типа «Поляризованная биосфера», «Культурный ландшафт» и т.д., а в конкретных проектах – на уровне проектных предложений по оптимизации хозяйствования выявленных природно-хозяйственных зон.

Выводы

Ландшафтная индикация природопользования как важная сторона научного познания регионов должна логично подразделяться на несколько уровней:

1. оценочный, определяющий такие показатели, как качество среды, нормирование хозяйственных нагрузок, устойчивость геосистем, адаптивность, оптимальность функционирования и т.д.;

2. прогнозный, оценивающий состояние объектов при реализации конкретных проектов природопользования;

3. результирующий – отражающий корректность наших усилий, правильность выбора тактики природопользования;

4. интеграционный – обеспечивающий суммарную оценку хозяйственной деятельности и выбор стратегии природопользования.

Таким образом, в приложении к теории рационального природопользования ландшафтная индикация имеет более опосредованный характер, отражая вероятность развития определенных процессов, выступающих как условия хозяйствования, позволяющих прогнозировать предпосылки значительных изменений в природе. Понимание того, как характеристики ландшафта влияют на модели биоразнообразия и экологические процессы в локальном и ландшафтном масштабах, будет иметь решающее значение для смягчения последствий глобального изменения окружающей среды.

Список использованных источников

1. **Kristensen L.S., Thenail C., Kristensen S.P.** Landscape changes in agrarian landscapes in the 1990s: the interaction between farmers and the farmed landscape. A case study from Jutland, Denmark // *Journal of Environmental Management*. 2004. Vol. 71 (3). Pp. 231-244. DOI 10.1016/j.jenvman.2004.03.003.
2. **Liu Y., Li T., Zhao W.** Landscape functional zoning at a county level based on ecosystem services bundle: Methods comparison and management indication // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 249. P. 109315. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109315.
3. **Алахвердиев Ф.Д., Гайрабеков У.Т., Абумуслимов А.А.** Некоторые аспекты оценки ПТК в горах с использованием методов ландшафтной индикации // *Вестник Академии наук Чеченской Республики*. 2008. № 2-1 (9). С. 77-82.
4. **Betts M.G., Forbes G.J., Diamond A.W.** Thresholds in songbird occurrence in relation to landscape structure // *Conservation Biology*. 2007. Vol. 21 (4). Pp. 1046-1058. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2007.00723.x.
5. **Lindenmayer D., Hobbs R.J., Montague-Drake R.** A checklist for ecological management of landscapes for conservation // *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11 (1). Pp. 78-91. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01114.x.
6. **Mörtberg U.M., Balfors B., Knol W.C.** Landscape ecological assessment: a tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning // *Journal of Environmental Management*. 2007. Vol. 82 (4). Pp. 457-470. DOI: 10.1016/j.jenvman.2006.01.005.
7. **Ovaskainen O., Sato K., Bascompte J.** Metapopulation models for extinction threshold in spatially correlated landscapes // *Journal of Theoretical Biology*. 2002. Vol. 215 (1). Pp. 95-108. DOI: 10.1006/jtbi.2001.2502.
8. **Tscharntke T., Tylianakis J.M., Rand T.A.** Landscape moderation of biodiversity patterns and processes – eight hypotheses // *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 2012. Vol. 87 (3). Pp. 661-685. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x.
9. **With K.A.** Assessing the risk of invasive spread in fragmented landscapes // *Risk Analysis*. 2004. Vol. 24 (4). Pp. 803-815. DOI: 10.1111/j.0272-4332.2004.00480.x.
10. **Alphan H.** Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. Vol. 189 (1). P. 24. DOI: 10.1007/s10661-016-5748-7.
11. **Макаров В.З., Пичугина Н.В., Данилов В.А.** Ландшафтное картографирование: учебное пособие. Саратов: СГУ имени Н.Г. Чернышевского, 2013. 100 с.
12. **Cheryatova Yu.S., Yembaturova E.Yu.** Transgenic plants – a threat to local flora? // *Ecological Genetics*. 2022. Vol. 20. Pp. 54-55. DOI: 10.17816/ecogen112372.
13. **Gonzalez A., Rayfield B., Lindo Z.** The disentangled bank: how loss of habitat fragments and disassembles ecological networks // *American Journal of Botany*. 2011. Vol. 98 (3). Pp. 503-516. DOI: 10.3732/ajb.1000424.
14. **Черятова Ю.С.** Экзогенные секреторные структуры цветковых растений // *Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития*. Петрозаводск: «Новая наука», 2022. С. 139-155.
15. **Cheryatova Yu.S.** Actual aspects of anatomical research of medicinal plant material of *Vinca minor* L. // IOP Conference series: Earth and Environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry

References

1. **Kristensen L.S., Thenail C., Kristensen S.P.** Landscape changes in agrarian landscapes in the 1990s: the interaction between farmers and the farmed landscape. A case study from Jutland, Denmark // *Journal of Environmental Management*. 2004. Vol. 71(3). P. 231-244. – DOI 10.1016/j.jenvman.2004.03.003.
2. **Liu Y., Li T., Zhao W.** Landscape functional zoning at a county level based on ecosystem services bundle: Methods comparison and management indication // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 249. P. 109315. – DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109315.
3. **Alakhverdiev F.D., Gairabekov U.T., Abumuslimov A.A.** Some aspects of assessing the PTK in the mountains using landscape indication methods // *Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic*. 2008. № 2-1(9). P. 77-82.
4. **Betts M.G., Forbes G.J., Diamond A.W.** Thresholds in songbird occurrence in relation to landscape structure // *Conservation Biology*. 2007. Vol. 21(4). P. 1046-1058. – DOI 10.1111/j.1523-1739.2007.00723.x.
5. **Lindenmayer D., Hobbs R.J., Montague-Drake R.** A checklist for ecological management of landscapes for conservation // *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11(1). P. 78-91. – DOI 10.1111/j.1461-0248.2007.01114.x.
6. **Mörtberg U.M., Balfors B., Knol W.C.** Landscape ecological assessment: a tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning // *Journal of Environmental Management*. 2007. Vol. 82(4). P. 457-470. – DOI 10.1016/j.jenvman.2006.01.005.
7. **Ovaskainen O., Sato K., Bascompte J.** Metapopulation models for extinction threshold in spatially correlated landscapes // *Journal of Theoretical Biology*. 2002. Vol. 215(1). P. 95-108. – DOI 10.1006/jtbi.2001.2502.
8. **Tscharntke T., Tylianakis J.M., Rand T.A.** Landscape moderation of biodiversity patterns and processes – eight hypotheses // *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 2012. Vol. 87(3). P. 661-685. – DOI 10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x.
9. **With K.A.** Assessing the risk of invasive spread in fragmented landscapes // *Risk Analysis*. 2004. Vol. 24(4). P. 803-815. – DOI 10.1111/j.0272-4332.2004.00480.x.
10. **Alphan H.** Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. Vol. 189(1). P. 24. – DOI 10.1007/s10661-016-5748-7.
11. **Makarov V.Z., Pichugina N.V., Danilov V.A.** Landscape mapping. Saratov: Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky, 2013. 100 p.
12. **Cheryatova Yu.S., Yembaturova E.Yu.** Transgenic plants – a threat to local flora? // *Ecological Genetics*. 2022. Vol. 20. P. 54-55. – DOI 10.17816/ecogen112372.
13. **Gonzalez A., Rayfield B., Lindo Z.** The disentangled bank: how loss of habitat fragments and disassembles ecological networks // *American Journal of Botany*. 2011. Vol. 98(3). P. 503-516. – DOI 10.3732/ajb.1000424.
14. **Cheryatova Yu.S.** Exogenous secretory structures of flowering plants // *Fundamental and applied science: state and development trends*. Petrozavodsk: “New Science”, 2022. P. 139-155.
15. **Cheryatova Yu.S.** Actual aspects of anatomical research of medicinal plant material of *Vinca minor* L. // IOP Conference series: Earth and Environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry

and agricultural products. 2021. Vol. 723. P. 022036. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022036.

16. Ewers R.M., Didham R.K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation // Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society. 2006. Vol. 81 (1). Pp. 117-142. DOI: 10.1017/S1464793105006949.

17. Mony C., Vandenkoornhuysen P., Bohannan B.J.M. A Landscape of Opportunities for Microbial Ecology Research // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. P. 561427. DOI: 10.3389/fmicb.2020.561427.

Об авторах

Юлия Сергеевна Черятова, канд. биол. наук, доцент, ORCID0000-0001-5614-2225; u.cheryatova@rgau-msha.ru

Алиа Фаридовна Джафарова, студент; alija.df@yandex.ru

Алиса Ильинична Греско, студент; ghriesko@bk.ru

Критерии авторства

Черятова Ю.С., Джафарова А.Ф., Греско А.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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors state that there are no conflicts 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 22.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 20.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 20.02.2024

and agricultural products. 2021. Vol. 723. P. 022036. – DOI 10.1088/1755-1315/723/2/022036.

16. Ewers R.M., Didham R.K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation // Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society. 2006. Vol. 81(1). P. 117-142. – DOI 10.1017/S1464793105006949.

17. Mony C., Vandenkoornhuysen P., Bohannan B.J.M. A Landscape of Opportunities for Microbial Ecology Research // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. P. 561427. – DOI 10.3389/fmicb.2020.561427.

Author information

Yulia S. Cheryatova, Csc (Bio), associate professor, ORCID0000-0001-5614-2225; u.cheryatova@rgau-msha.ru

Aliya F. Jafarova, student; alija.df@yandex.ru

Alisa I. Gresko, student; ghriesko@bk.ru

Cheryatova Yu.S., Jafarova A.F., Gresko A.I. conducted theoretical research, based on which they summarized the results and wrote the manuscript. They have the copyright for the article and are responsible for the plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-117-124>

УДК 712.4:581.5



ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ВИДОВ SALIX ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ГОРОДСКОМ ПАРКЕ ВОЛЬСКА

А.А. Вергунова[✉], П.Н. Проездов, О.Б. Сокольская[✉], А.В. Розанов

Вавиловский университет; 410012, г. Саратов, ул. Советская, 60., Россия

Аннотация. Целью исследований явилось установление закономерностей роста и развития видов *Salix*, произрастающих в городском парке Вольска Саратовской области, под влиянием различных водных источников. Методика исследований опиралась на соответствующие ГОСТы, рекомендации научных учреждений и научных исследований. Дисперсионный анализ годичных приростов 12 видов *Salix* позволил установить закономерности в зависимости от увлажнения вегетационных периодов 2018, 2019 и 2022 гг. Установлены закономерности роста и развития видов *Salix*, произрастающих в городском парке Вольска Саратовской области под влиянием различных водных источников. Определено, что в естественных условиях увлажнения значения приростов ивовых ветвей в длину зависят от погодных условий: чем ниже гидротермический коэффициент, тем меньше приросты. Пруд, ручей, грунтовые воды, доступные для корней, увеличивают приросты видов *Salix* до 78,7%. Дисперсионный анализ двухфакторного опыта установил существенные различия по обоим факторам и их взаимодействию. Регрессионно-корреляционный анализ выявил, что годичные приросты на 83% зависят от погодных условий и вида водного источника. Выявлено, что наилучшими древовидными ивами, произрастающими на территории парка культуры и отдыха в г. Вольске, являются следующие их виды: *Salix babylonica* var. *tortuosa* x *alba* var. *reticulata* (S. X 'Sverdlovskaja Isvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva), *Salix schwerinii* x *dasyclados* (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva), *Salix hybrida* «Schater 1», *Salix matsudana* Koidz., *S. schwerinii* x (*schwerinii* x *udensis*) (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva).

Ключевые слова: виды *Salix*, озеленение, городской парк, водные источники, гидротермический коэффициент, дисперсия, корреляционный анализ, прибрежные территории

Формат цитирования: Вергунова А.А., Проездов П.Н., Сокольская О.Б., Розанов А.В. Закономерности роста видов *Salix* под влиянием природно-антропогенных факторов в городском парке Вольска // Природоустройство. 2024. № 2. Рр. 117-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-117-124>

Original article

REGULARITIES OF GROWTH OF SALIX SPECIES UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN THE CITY PARK OF VOLSK

A.A. Vergunova, P.N. Proezdov, O.B. Sokolskaya, A.V. Rozanov

Vavilovsky University, 60, Sovetskaya str., 410012, Saratov, Russia

Abstract. The article establishes the regularities of growth and development of tree-like willows growing in the city park of the city of Volsk under the influence of various water sources. The research methodology was based on the relevant GOST standards, recommendations of scientific institutions and scientific research. The variance analysis of the annual increments of 12 *Salix* species allowed us to establish patterns depending on the moisture content of the growing seasons of 2018, 2019 and 2022. It is determined that under natural conditions of humidification, the values of the willow branches' increments in length depend on weather conditions, the lower the hydrothermal coefficient, the smaller the increments. Pond, stream, ground water available for roots increase the increments of *Salix* species up to 78.7%. The variance analysis of two-factor experience has established significant differences in both factors and their interaction. Regression and correlation analysis revealed that annual increases by 83% depend on weather conditions and the type of water source. It was revealed that the best tree-like willows growing on the territory of the park of culture and recreation in the city of Volsk are

the following species: *Salix babylonica* var. *tortuosa* x *alba* var. *recticapus* (S. X 'Sverdlovskaja Isvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva), *Salix schwerinii* x *dasyclados* (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva), *Salix hybrida* "Schater 1", *Salix matsudana* Koidz., *S. schwerinii* x (*schwerinii* x *udensis*) (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva).

Keywords: *Salix* species, landscaping, urban park, water sources, hydrothermal coefficient, dispersion, correlation analysis, coastal territories

Format of citation: Vergunova A.A., Proezdov P.N., Sokolskaya O.B., Rozanov A.V. Regularities of the growth of *Salix* species under the influence of natural and anthropogenic factors in the city park of Volsk // Prirodoostroystvo. 2024. № 2. P. 117-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-117-124>

Введение. С каждым годом повышается уровень урбанизации и населения в городах, но значительно сокращается площадь озеленения. Зеленые насаждения эффективны для оздоровления окружающей среды, благоприятны для комфорта и жизнедеятельности человека, гармонии его с природой в условиях мегаполисов. Часто территории под озеленение находятся в районах с близким расположением грунтовых вод, что препятствует применению широкого ассортимента декоративно-флористического материала. Следовательно, при таких обстоятельствах виды рода *Salix* являются незаменимыми для данных территорий, как хорошо переносят переувлажнение и осушают избыточно влажные участки.

На протяжении значительного периода виды *Salix* изучали в основном исследователи в биологических и медицинских областях науки. Много научных трудов, посвященных изучению этих видов, было в период 1960-1990 гг. (например, работы П.Ф. Маевского, А.К. Скворцова [1], В.И. Шабурова, Т.Н. Шкапенко и др.). В XXI в. исследованием видов *Salix* занимались и занимаются такие ученые, как А.А. Афонин [2], И.В. Беляева, Е.Т. Валягина-Малютина [3], А.А. Вергунова [4-6], Н.А. Гашеева, И.А. Гетманец, М.Т. Мазуренко, О.И. Недосеко [7], Т.А. Полякова, А.А. Парамонов [8], П.Н. Проездов [5, 6], О.Б. Сокольская [4-6], А.С. Тимофеева [9], Е.В. Угольников [10] и др.

Зарубежный опыт представлен в работах следующих специалистов: E.S. Fabio, 2018 [11]; D. Liberacki, 2022 [12]; J. Mirck, 2015 [13]; C. Weisteiner, N. Schenkenbach, W. Lammeranner, G. Kalny, H. Rauch, 2019 [14]; M. Welc, A. Lundkvist, T. Verwijst, 2018 [15]; и др.

Анализ большинства публикаций авторов показал, что в настоящее время отсутствуют исследования по закономерности роста и развития видов *Salix*, произрастающих в городских условиях под влиянием различных водных источников. Актуальность темы определена тем, что необходимо не только оценить биологические аспекты и ландшафтно-декоративные параметры видов *Salix*, но и установить закономерности в зависимости от увлажнения вегетационных периодов

при помощи дисперсионного анализа годичных приростов видов ив и определить наилучшие древовидные виды *Salix* для озеленения увлажненных мест.

Цель исследований: установление закономерностей роста и развития видов *Salix*, произрастающих в городском парке Вольска Саратовской области, под влиянием различных водных источников.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

– выявить динамику годичных приростов древовидных ив в зависимости от видов увлажнения вегетационного периода и под влиянием водных источников;

– выполнить дисперсионный анализ годичных приростов древовидных ив на основе многофакторного эксперимента;

– дать уравнение регрессии и установить тесноту связи изучаемых факторов, влияющих на приросты видов *Salix*.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на базе городского парка в г. Вольске Саратовской области, который имеет водные территории: пруд, ручьи, участки с близким расположением грунтовых вод. Объекты исследований – виды *Salix*, высаженные нами в 2018 г. Природная зона – южная лесостепь Приволжской возвышенности (рис. 1).

Насаждения изучались методами лесной таксации: корреляционным и иными методами математического анализа [16-18].

Теоретический аспект решения проблемы озеленения прибрежных территорий городских парков заключается в использовании аналитико-экспериментального метода, на основе которого построена множественная регрессия (1):

$$H = -80,9 + 346,3 \text{ ГТК} + 22,97 \text{ В} - 206 \text{ ГТК}^2 - 5,165 \text{ ГТК В} - 5,83 \text{ В}^2 \quad (1),$$

где h – прирост ветвей ивы в длину, см; ГТК – гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (отношение количества осадков, мм, умноженное на 10, к сумме температур $> 10^\circ\text{C}$ за вегетацию ивы; $\text{ГТК} = r/(\sum t/10)$); В – степень влияния водного источника. Пруд – В = 1,5; ручей – В = 2; грунтовые воды – В = 1,0; b_0 - b_3 – коэффициенты множественной регрессии.

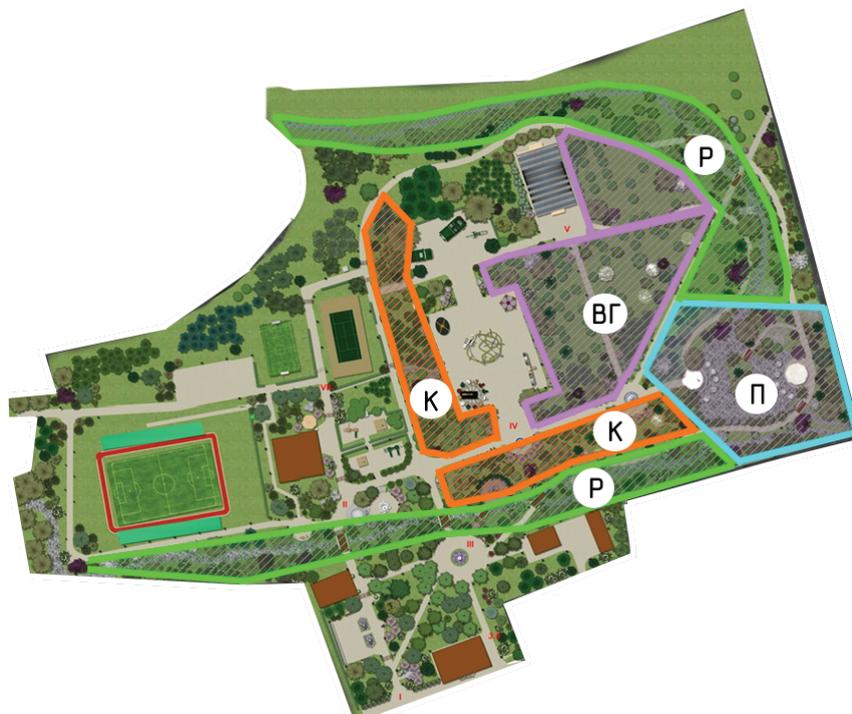


Рис. 1. Схема исследований в городском парке г. Вольска:
К – «Зона контроля», Р – «Зона ручьев»; П – «Зона пруда»; ВГ – «Зона грунтовых вод»

Fig. 1. Research scheme in the city park of Volsk:

K – control area; P – stream area; П – pond area; ВГ – groundwater zone

Таблица 1. Годичные приросты *Salix fragilis* var. *sphaerica* = var. *Bullata*, см, в зависимости гидротермического коэффициента и степени влияния водного источника

Table 1. Annual growth of *Salix fragilis* var. *sphaerica* = var. *Bullata* (cm) depending on the hydrothermal coefficient and the degree of influence of the water source

Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient																	
0,30			0,45			1,20			0,30			0,45			1,20		
Контроль (без влияния водного источника) Control (without the influence of water source)			Степень влияния водного источника / Degree of influence of the water source														
			ВГ GW	Пруд Pond	Ручей Stream	ВГ GW	Пруд Pond	Ручей Stream	ВГ GW	Пруд Pond	Ручей Stream						
0	0	0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
10,7	25,3	39,7	20,0	20,0	21,3	49,3	54,7	54,3	48,0	49,7	48,0	49,7	48,0	48,0	48,0	49,7	48,0

ВГ – грунтовые воды корневые / GW – ground water root-accessible

Исчерпывающий учет всех факторов среды, воздействующих на рост и развитие видов рода *Salix* в городском парке г. Вольска, является сложной задачей. Совокупность факторов среды представляет собой многомерную гиперповерхность, детальное исследование которой затруднено сложностью ее структуры. Целесообразно использовать математические модели и методы, наиболее значимые из совокупности факторов с доступным расчетно-аналитическим описанием. Применен метод вероятностного моделирования, предполагающий замену реального объекта его статистической моделью.

Результаты исследований и их обсуждение. На основе теоретического и экспериментального методов исследования из всего

многообразия природно-антропогенных факторов, влияющих на рост и развитие древовидных ив, были выделены следующие ключевые факторы: осадки, температурный режим (гидротермический коэффициент), влияние типов водного источника.

Нами установлена регрессионная зависимость годового прироста на примере *Salix fragilis* var. *sphaerica* = var. *Bullata* (рис. 2):

$$H = -80,9 + 346,3 \text{ ГТК} + 22,97 \text{ В} - 206 \text{ ГТК}^2 - 5,165 \text{ ГТК В} - 5,83 \text{ В}^2$$

$$R^2 = 0,87$$

Данные рисунка 2 указывают на тесную связь годового прироста ивы с условиями естественного увлажнения и влияния вида водного

источника. Коэффициент детерминации составляет 0,87.

Дисперсионный анализ отмечает достоверные различия годовых приростов видов рода *Salix* в зависимости от увлажнения вегетационных периодов 2018, 2019 и 2022 гг. (табл. 2, рис. 3, 4).

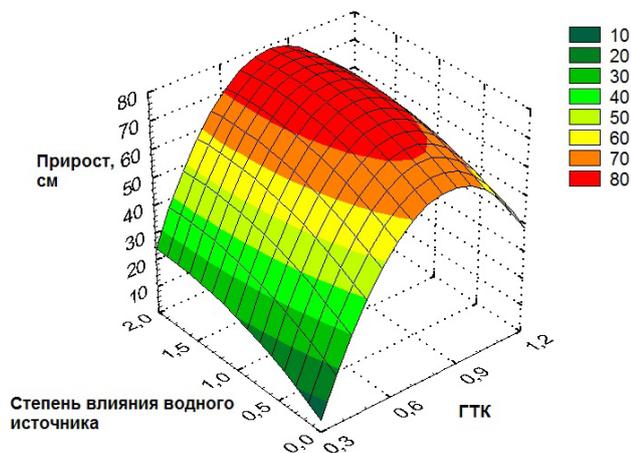


Рис. 2. Зависимость годового прироста *Salix fragilis var. sphaerica = var. bullata* от гидротермического коэффициента и степени влияния водного источника

Fig. 2. Dependence of annual growth of *Salix fragilis var. sphaerica = var. bullata* depends on the hydrothermal coefficient and the degree of influence of the water source

Дисперсионный анализ отмечает также закономерности годовых приростов видов *Salix* в зависимости от увлажнения вегетационных периодов 2018, 2019 и 2022 гг. (табл. 2).

Дисперсионный анализ отмечает достоверные различия годовых приростов видов рода *Salix* в зависимости от увлажнения вегетационных периодов 2019 и 2022 гг. (рис. 3, 4):

$$\begin{aligned} \text{НСР}_{05} &= 1,42 \text{ см для частных различий;} \\ \text{НСР}_{05} \text{ для факторов : } A &= 2,24 \text{ см;} \\ B &= 1,48 \text{ см; } AB = 0,23 \text{ см.} \end{aligned}$$

Следовательно, из данных таблицы 2 и рисунков 3, 4 нами установлено, что с повышением гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова увеличиваются приросты ив. В естественных условиях увлажнения (контроль) приросты ив в зависимости от вида составляют: для сухого года (2019 – ГТК = 0,30) 2,7-44,3 см; для средне-сухого (2018, ГТК = 0,45) – 10,7-96,7 см; для влажного (2022, ГТК = 1,80) – 10,3-110,3 см. Наибольшие приросты независимо от года увлажнения на контроле у следующих видов *Salix*: *Salix babylonica var. tortuosa x alba var. reticatus* (S. X 'Sverdlovskaja Isvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva), *Salix schwerinii x dasyclados* (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva), *Salix viminalis* L., S.

Таблица 2. Годичные (средние) приросты видов *Salix* (см) под влиянием типа водного источника (2018, 2019, 2022 гг.)

Table 2. Annual (average) growth of *Salix* species (cm) under the influence of the type of water source (2018, 2019, 2022)

Вид ивы (Фактор А) <i>Willow species (Factor A)</i>	Тип водного источника (Фактор В) <i>Type of water source (Factor B)</i>			
	Контроль <i>Control</i>	Пруд <i>Pond</i>	Ручей <i>Stream</i>	Грунтовые воды <i>GW</i>
1	2	3	4	5
2018 год. Среднесухой / Medium dry; ГТК = 0,45; НСР₀₅ = 3,50 см для частных различий / for particular differences; НСР₀₅ для факторов / for factors: А – 4,67 см; В – 5,08 см; АВ – 1,32 см				
<i>Salix babylonica var. tortuosa x alba var. reticatus</i> (S. X 'Sverdlovskaja Isvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva)	79,7	101,7	102,3	102,3
<i>Salix alba</i> L. var. <i>argentea</i> hort.	30,3	63,0	62,0	63,3
<i>Salix hybrida</i> x 'Schater 1 V. Shaburov et I. Beljaeva	49,0	121,0	120,7	119,7
<i>Salix caprea</i> x 'Pamiati Bazova' V. Shaburov et I. Beljaeva	15,0	20,0	20,0	19,3
<i>Salix alba</i> x <i>blanda</i> = S. x 'Pamiati Mindovskogo' V. Schaburov et I. Beljaeva	31,7	61,7	61,0	60,3
<i>Salix schwerinii</i> x <i>dasyclados</i> (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva)	61,3	102,0	102,3	102,3
<i>Salix blanda</i> x <i>alba</i> (S. X 'Fantasia' V. Schaburov et I. Beljaeva)	18,3	24,7	24,0	25,3
<i>S. schwerinii</i> x (<i>schwerinii</i> x <i>udensis</i>) (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva)	59,3	99,0	101,0	99,3
<i>Salix hybrida</i> x 'Schater II V. Shaburov et I. Beljaeva	10,7	18,0	19,7	20,7
<i>Salix matsudana</i> Koidz.	96,7	101,3	101,7	100,3
<i>Salix fragilis</i> L.	25,3	54,7	54,3	49,3
<i>Salix viminalis</i> L.	74,3	103,3	101,7	200,7

1	2	3	4	5
2019 год. Сухой / wet year; ГТК = 0,30; НСР₀₅ = 1,42 см для частных различий / for particular differences; НСР₀₅ для факторов / for factors: А – 2,24 см; В – 1,48 см; АВ – 0,23 см				
Salix babylonica var.tortuosa x alba var.recticapus (S. X 'Sverdlovskaja Isvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva)	42,7	54,0	49,7	51,0
Salix alba L. var. argentea hort.	11,0	21,0	19,0	20,3
Salix hybrida x 'Schater 1 V. Shaburov et I. Beljaeva	33,7	44,7	42,7	42,3
Salix caprea x 'Pamiati Bazova' V. Shaburov et I. Beljaeva	5,3	10,0	8,7	8,3
Salix alba x blanda = S. x 'Pamiati Mindovskogo' V. Schaburov et I. Beljaeva	16,7	26,3	26,0	25,7
Salix schwerinii x dasyclados (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva)	36,0	45,3	45,0	43,7
Salix blanda x alba (S. X 'Fantasia' V. Schaburov et I. Beljaeva)	14,3	17,3	17,0	16,3
S. schwerinii x (schwerinii x udensis) (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva)	44,3	54,3	54,3	53,3
Salix hybrida x 'Schater II V. Shaburov et I. Beljaeva	2,7	4,0	3,3	3,0
Salix matsudana Koidz.	32,3	42,0	41,0	40,0
Salix fragilis L.	10,7	20,0	21,3	20,0
Salix viminalis L.	27,7	37,7	37,0	36,3
2022 год. Влажный / wet year: ГТК = 1,80; НСР₀₅ = 1,54 см для частных различий / for particular differences; НСР₀₅ для факторов / for factors: А – 5,18 см; В – 1,58 см; АВ – 0,17 см (несущественно / unimportant)				
Salix babylonica var.tortuosa x alba var.recticapus (S. X 'Sverdlovskaja Isvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva)	95,3	105,3	102,7	104,0
Salix alba L. var. argentea hort.	39,7	49,7	49,0	48,3
Salix hybrida x 'Schater 1 V. Shaburov et I. Beljaeva	110,3	120,3	118,7	118,0
Salix caprea x 'Pamiati Bazova' V. Shaburov et I. Beljaeva	10,3	15,3	15,0	14,3
Salix alba x blanda = S. x 'Pamiati Mindovskogo' V. Schaburov et I. Beljaeva	49,7	59,7	57,7	118,0
Salix schwerinii x dasyclados (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva)	91,7	101,7	99,7	14,3
Salix blanda x alba (S. X 'Fantasia' V. Schaburov et I. Beljaeva)	12,7	22,7	22,3	56,7
S. schwerinii x (schwerinii x udensis) (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva)	87,7	97,7	96,3	96,3
Salix hybrida x 'Schater II V. Shaburov et I. Beljaeva	11,7	14,7	12,7	12,7
Salix matsudana Koidz.	83,7	93,7	92,3	92,3
Salix fragilis L.	39,7	49,7	48,0	48,0
Salix viminalis L.	86,7	96,7	96,3	94,7

Примечания: ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова; НСР₀₅ – наименьшая существенная разность на 5% уровне значимости; контроль – естественные условия увлажнения.

Notes: SHC – Selyaninov hydrothermal coefficient; NCR05 – the smallest significant difference at the 5% significance level; Control – natural moisturizing conditions.

schwerinii x (schwerinii x udensis) (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva).

Влияние водного источника на годовые приросты исследуемых видов *Salix* является позитивным независимо от естественного увлажнения вегетационного периода. В сухой 2019 год по сравнению с контрольными участками (с естественными условиями увлажнения) наибольшее увеличение приростов было обнаружено у видов *Salix*, произрастающих рядом с прудом, наименьшее – в районе выхода грунтовых вод. Связано это с падением

уровня грунтовых вод к концу вегетационного периода, тогда как для пруда и ручьев характерно практически неизменное положение уреза воды.

Дисперсионный анализ двухфакторного опыта показал существенные различия по обоим факторам и по их взаимодействию. Исключение составило взаимодействие факторов АВ во влажный вегетационный период 2022 г., что объясняется меньшим влиянием водного источника на приросты видов *Salix* по сравнению с естественным увлажнением (табл. 2).

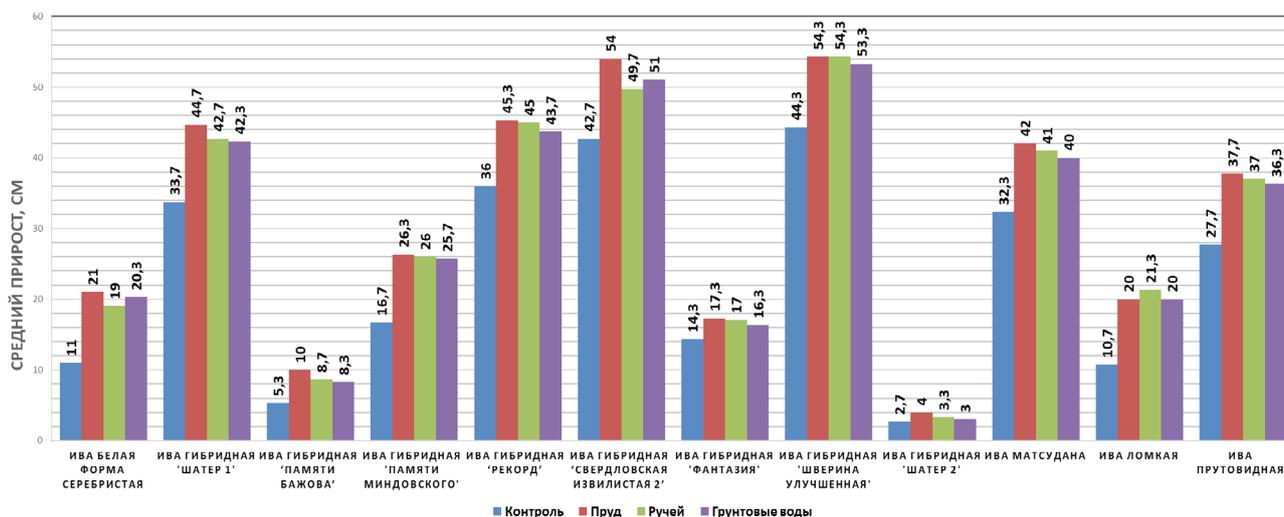


Рис. 3. Средние приросты видов рода *Salix* в городском парке Вольска за 2019 г.: НСР05 = 1,54 см для частных различий; НСР05 для факторов: А = 5,18 см; В = 1,58 см; АВ = 0,17 см

Fig. 3. Average growth of species of the genus *Salix* in the Volsk City Park in 2019: НСР05 = 1,54 cm for particular differences; НСР05 – for factors: А =5,18 cm; В =1,58 cm; АВ =0,17 cm

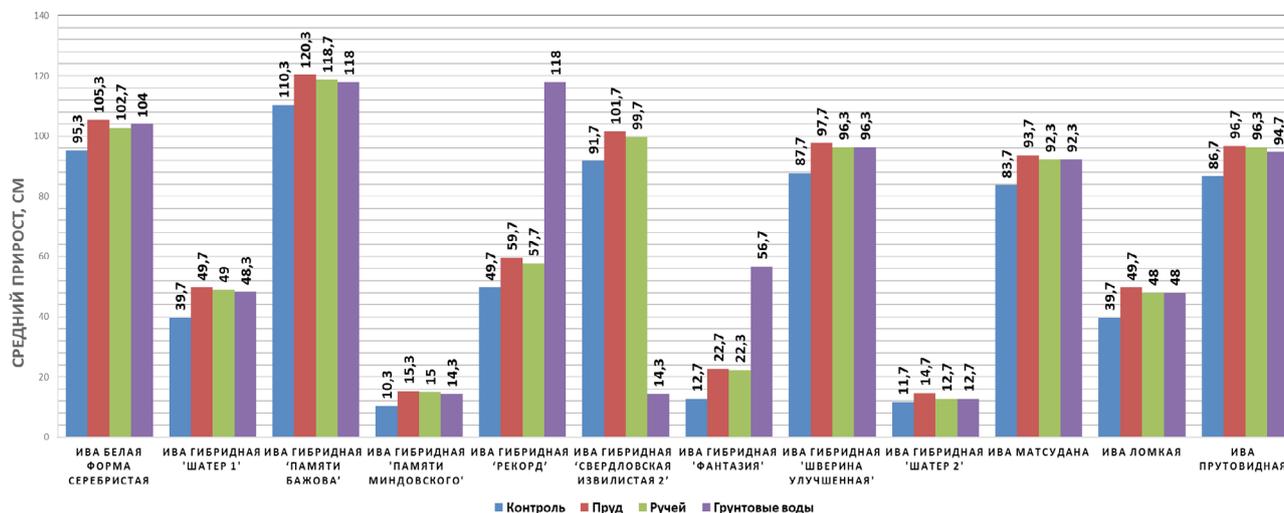


Рис. 4. Средние приросты видов рода *Salix* в городском парке Вольска за 2022 г.

Fig. 4. Average growth of species of the genus *Salix* in the city park of Volsk in 2022

Выводы

Таким образом, нами сделаны следующие выводы:

1) установлено, что в засушливые вегетационные периоды роста видов *Salix* 2018-2019 гг. в условиях естественного увлажнения приросты по длине ветвей минимальные, во влажный 2022 г. – максимальные;

2) определены водные источники (пруд, ручей, грунтовые воды), которые увеличивают приросты ветвей до 78,7% по сравнению с условиями естественного увлажнения, тем самым положительно влияя на привлекательность древовидных ив;

3) выявлено, что годичный прирост видов *Salix* на уровне 0,87 зависит от гидротермического коэффициента (погодных условий) и вида водного источника;

4) установлено, что наиболее перспективными видами *Salix* в условиях парка г. Вольска, особенно на переувлажненных территориях, являются следующие виды: *S.babylonica var.tortuosa x alba var.recticapus* (S. X 'Sverdlovskaja Izvilistaja 2' V. Schaburov et I. Beljaeva), *S.schwerinii x dasyclados* (S. X 'Rekord' V. Schaburov et I. Beljaeva), *S.hybrida «Schater 1»*, *S.matsudana Koidz.*, *S.schwerinii x (schwerinii x udensis)* (S. x 'Schwerina Ulutschennaja' V. Schaburov et I. Beljaeva).

Список использованных источников

1. Скворцов А.К. Ивы СССР (систематический и географический обзор). М.: Наука, 1968. 255 с.
2. Афонин А.А. Динамика развития побегов *Salix triandra* на саженцах, выращенных из базальных и апикальных черенков // Аграрный вестник Урала. 2022. № 09(224). С. 2-12.
DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-2-12.
3. Валягина-Малюткина Е.Т. Ивы Европейской части России. М.: Товарищество научных изданий КМК (ППП Тип. «Наука»), 2004. 217 с.
4. Вергунова А.А., Сокольская О.Б. Ива в ландшафтной архитектуре. Перспективное использование видов рода *Salix* в озеленении населенных пунктов: монография. СПб.: Лань, 2021. 120 с. – ISBN 978-5-8114-7810-1.
5. Вергунова А.А., Сокольская О.Б., П.Н. Проездов. Оценка аттрактивности прибрежных объектов ландшафтной архитектуры Саратовской области // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики-2022: Материалы II Международной научно-технической конференции / Под науч. ред. О.Б. Сокольской, И.Л. Воротникова. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2022. С. 13-22. EDN NERSPG.
6. Вергунова А.А., Сокольская О.Б., П.Н. Проездов. Мониторинг состояния видов рода *Salix* в Вольском городском парке Саратовской области // Ландшафтная архитектура: традиции и перспективы-2022: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Екатеринбург: УГЛУ, 2022. С. 65-72. EDN GPQOTL.
7. Недосеко О.И. Становление жизненных форм и архитектоники крон бореальных видов ив подродов *Salix* и *Vetrix Dumort.* в онтогенезе: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2018. 43 с.
8. Парамонов А.А., Третьяков С.В., Коптев С.В. Таблицы хода роста нормальных ивовых древостоев таежной зоны северо-востока Европейской части России // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства / ФБУ «СПбНИИЛХ»; Гл. ред. А.В. Константинов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2021. № 2. С. 17-27.
9. Трофимова А.С., Яндовка Л.Ф. Адаптационные возможности видов *Salix L.*, *chosenia nakai*, *toisusu trautv. et mey.* (Salicaceae) при интродукции в Ботаническом саду Петра Великого // Материалы МСНК «Студенческий научный форум-2022». Т. XI. М.: Евроазиатская научно-промышленная палата, 2022. С. 13-17.
10. Угольникова Е.В., Кашин А.С. Особенности репродуктивной биологии видов *Salix* (Salicaceae) в Саратовской области // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 26. С. 723-731.
11. Fabio E.S., Smart L.B. Differential growth response to fertilization of ten elite shrub willow (*Salix* spp.) bioenergy cultivars // Trees. 2018. № 32. Pp. 1061-1072. DOI: 10.1007/s00468-018-1695-y.
12. Liberacki Daniel, Joanna Kocięcka, Piotr Stachowski, Roman Rolbiecki, Stanisław Rolbiecki, Hicran A. Sadan, Anna Figas, Barbara Jagosz, Dorota Wichrowska, Wiesław Ptach and et al. Water Needs of Willow (*Salix L.*) in Western Poland *Energies* 15. 2022. № 2. P. 484. <https://doi.org/10.3390/en15020484>.
13. Mirck J., Zalesny R.S. Mini-Review of Knowledge Gaps in Salt Tolerance of Plants Applied to Willows and Poplars. *Int. J. Phytoremediation*. 2015. № 17. Pp. 640-650.

References

1. Skvortsov A.K. Willows of the USSR (systematic and geographical review). Moscow: Nauka, 1968. 255 p.
2. Afonin A.A. Dynamics of development of *Salix triandra* shoots on seedlings grown from basal and apical cuttings // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 09 (224). P. 2-12. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-2-12.
3. Valyagina-Malyutina E.T. Willows of the European part of Russia. – Moscow: Partnership scientific publishing House. KMK, 2004 (PPP Type. Science). – 217 p.
4. Vergunova A.A., Sokolskaya O.B. Willow in landscape architecture. Promising use of species of the genus *Salix* in landscaping settlements: monograph. Saint Petersburg: Lan, 2021. 120 p. – ISBN 978-5-8114-7810-1.
5. Vergunova A.A., Sokolskaya O.B., P.N. Proezdov. Assessment of the attractiveness of coastal objects of landscape architecture of the Saratov region // Landscape architecture and environmental management: from project to economy – 2022: Materials of the International scientific and practical conference, Saratov / Under the scientific editorship of O.B. Sokolskaya and I.L. Vorotnikov. Saratov: LLC “Center for Social Agroinnovations of SSAU”, 2022. P. 13-22. – EDN NERSPG.
6. Vergunova A.A., Sokolskaya O.B., P.N. Proezdov. Monitoring of the status of species of the genus *Salix* in the Volsky City Park of the Saratov region // Landscape architecture: traditions and prospects – 2022: Materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, December 15-16, 2022. – Yekaterinburg: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Ural State Forestry University”, 2022. P. 65-72. – EDN GPQOTL.
7. Nedoseko O.I. Formation of life forms and architectonics of the crowns of boreal species of willows of the *Salix* subgenera. and *Vetrix Dumort.* in ontogenesis: abstract. dis. ... Doctor of Biological Sciences. M., 2018. 43 p.
8. Paramonov A.A., Tretyakov S.V., Koptev S.V. Tables of the course of growth of normal willow stands of the taiga zone of the north-east of the European part of Russia // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry / FBU “SPbNIILH”. No. 2. Chief Editor A.V. Konstantinov. St. Petersburg: SPbNIILH, 2021. P. 17-27.
9. Trofimova A.S., Yandovka L.F. Adaptive capabilities of species *Salix L.*, *chosenia nakai*, *toisusu trautv. et mey.* (Salicaceae) at the introduction in the Botanical Garden of Peter the Great // Materials of the MSNC “Student Scientific Forum 2022”. 2022. No. 11. P. 13-17.
10. Ugolnikova E.V., Kashin A.S. Features of reproductive biology of *Salix* (Salicaceae) species in the Saratov region // Botanical magazine. 2013. Vol. 98. No. 26. P. 723-731.
11. Fabio E.S., Smart L.B. Differential growth response to fertilization of ten elite shrub willow (*Salix* spp.) bioenergy cultivars // Trees. 2018. No. 32. P. 1061-1072. DOI: 10.1007/s00468-018-1695-y.
12. Liberacki, Daniel, Joanna Kocięcka, Piotr Stachowski, Roman Rolbiecki, Stanisław Rolbiecki, Hicran A. Sadan, Anna Figas, Barbara Jagosz, Dorota Wichrowska, Wiesław Ptach, and et al. 2022. “Water Needs of Willow (*Salix L.*) in Western Poland” *Energies* 15, no. 2: 484. <https://doi.org/10.3390/en15020484>
13. Mirck J.; Zalesny R.S. Mini-Review of Knowledge Gaps in Salt Tolerance of Plants Applied to Willows and Poplars. *Int. J. Phytoremediation* 2015, 17, 640-650.

14. Weissteiner C., Schenkenbach N., Lammeraner W., Kalny G., Rauch H.P. Cutting diameter on early growth performance of purple willow (*Salix purpurea* L.) // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. № 74 (4). Pp. 380-388. DOI: 10.2489/jswc.74.4.380.

15. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of propagule phenology (non-dormant versus dormant) and planting system (vertical versus horizontal) on growth performance of willow clones grown under different weeding regimes // *BioEnergy Research*. 2018. № 11 (3). Pp. 703-714. DOI: 10.1007/s12155-018-9929-9.

16. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустойчивые. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1984. 60 с.

17. Минаев В.Н., Леонтьев Л.Л., Ковязин В.Ф. Таксация леса. СПб.: Лань, 2022. 204 с.

18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

Об авторах

Анастасия Аркадьевна Вергунова, аспирант кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», магистр ландшафтной архитектуры; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0200-4721>; aelestel@mail.ru

Пётр Николаевич Проездов, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7931-7980>; toxa_19@mail.ru

Ольга Борисовна Сокольская, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1723-1289>; sokolokaya.olg@yandex.ru

Александр Владимирович Розанов, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Цифровое управление процессами в АПК»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2144-4255>; arosanov@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Вергунова А.А., Проездов П.Н., Сокольская О.Б., Розанов А.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 / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interest / 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 28.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 22.03.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 22.03.2024

14. Weissteiner C., Schenkenbach N., Lammeraner W., Kalny G., Rauch H.P. Cutting diameter on early growth performance of purple willow (*Salix purpurea* L.) // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. No. 74 (4). Pp. 380-388. DOI: 10.2489/jswc.74.4.380.

15. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of propagule phenology (non-dormant versus dormant) and planting system (vertical versus horizontal) on growth performance of willow clones grown under different weeding regimes // *BioEnergy Research*. 2018. No. 11 (3). Pp. 703-714. DOI: 10.1007/s12155-018-9929-9.

16. OST 56-69-83 Trial forest management areas. Bookmark methods. M.: Publishing House of Standards, 1984. 60 p.

17. Minaev V.N., Leont'ev I.I., Kovyazin V.F. Forest taxation. Saint Petersburg: Lan', 2022. 204 p.

18. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results) // M.: Book on Demand, 2012. 352 p.

Author information

Anastasia A. Vergunova, Postgraduate student of the Department of Forestry and Landscape Construction, Master of Landscape Architecture, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0200-4721>; aelestel@mail.ru

Ppyotr N. Proezdov, DSc (Agro), Professor of the Department of Forestry and Landscape Construction, e-mail: ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7931-7980>; toxa_19@mail.ru

Olga B. Sokolskaya, DSc (Agro), Professor of the Department of Forestry and Landscape Construction, e-mail: ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1723-1289>; sokolokaya.olg@yandex.ru

Alexander V. Rozanov, CSc. (Phys-Math), Associate Professor of the Department "Digital control of processes in AIC"; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2144-4255>; arosanov@yandex.ru

Vergunova A.A., Proezdov P.N., Sokolskaya O.B., Rozanov A.V. performed practical and 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/10.26897/1997-6011-2024-2-125-130>

УДК 582.475.4: 581.48: 581.331.2



КАЧЕСТВО СЕМЯН И ПЫЛЬЦЫ 7 ВИДОВ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

Е.Н. Репин

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН; 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159, Россия

Аннотация. Целью исследований явилось изучение особенностей генеративного развития интродуцированных видов сосны на материале дендрария Горнотаежной станции. Приведены результаты изучения морфологии и качества пыльцы и семян 7 видов сосны в условиях интродукции Приморского края. Показатели жизнеспособности пыльцы и семян являются важнейшими характеристиками развития мужских генеративных структур. Это в свою очередь определяет степень адаптации вида к внешним условиям при интродукции. Морфометрические показатели пыльцы (длину, высоту тела и воздушных мешков) определяли на микропрепаратах, подсчитывали количество аномальных пыльцевых зерен. Жизнеспособность пыльцы определяли путем ее проращивания в 15%-ном растворе сахарозы в термостате при температуре 25 °С методом «висячей капли». В условиях интродукции обнаружена прямая взаимосвязь количества проросших пыльцевых зерен и интенсивности роста пыльцевых трубок. Всхожесть и энергию прорастания семян определяли по ГОСТ 13056.6-75. Проращивание осуществляли в чашках Петри на фильтровальной бумаге в термостате при постоянной температуре +24°C. Среди исследуемых видов сосны *P. banksiana*, *P. hamata* и особенно *P. sylvestris* обладают достаточно большим потенциалом к благоприятному завершению эмбриональной стадии в генеративном процессе. У этих же видов отмечены наилучшие показатели всхожести и энергии прорастания семян. Степень жизнеспособности пыльцы оказывает прямое влияние на формирование полнозернистых семян.

Ключевые слова: развитие интродуцированных видов сосны, жизнеспособность пыльцы и семян, морфология, всхожесть, энергия прорастания

Формат цитирования: Репин Е.Н. Качество семян и пыльцы 7 видов сосны в условиях интродукции в Приморском крае // Природообустройство. 2024. № 2. С. 125-130. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-125-130>

Original article

QUALITY OF SEEDS AND POLLEN OF SEVEN SPECIES OF PINE UNDER THE CONDITIONS OF INTRODUCTION IN PRIMORSKY KRAI

E.N. Repin

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690022, Russia

Abstract. The purpose of the study is to study the features of generative development of introduced pine species based on the material of the arboretum of the Mountain Taiga Station. The results of studying the morphology and quality of pollen and seeds of pine species under the conditions of the introduction of Primorsky Krai are presented. Pollen and seed viability indicators are the most important characteristics of the development of male generative structures. This, in turn, determines the degree of adaptation of the species to external conditions during introduction. Morphometric indicators of pollen (length and height of the body and air sacs) were determined on micro preparations, and the number of abnormal pollen grains was counted. Pollen viability was determined by germinating it in a 15% sucrose solution in a thermostat at a temperature of 25 °C using the “hanging drop” method. Under the conditions of introduction, a direct correlation was found between the number of germinated pollen grains and the intensity of growth of pollen tubes. Germination and seed germination energy were determined according to GOST 13056.6-75. Germination was carried out in Petri dishes on filter paper in a thermostat at a constant temperature of +24°C. A direct relationship was found between the number of germinated pollen grains and the rate of growth of pollen tubes. Among the studied pine species, *P. banksiana*, *P. hamata*, and especially *P. sylvestris*, have a sufficiently large potential for a favorable completion

of the embryonic stage in the generative process. The same species have the best indicators of germination and seed germination energy. The degree of viability of pollen has a direct impact on the formation of full-grained seeds.

Keywords: introduction, pines, pollen, seeds, morphology, viability, germination, germination energy

Format of citation: Repin E.N. Quality of seeds and pollen of seven species of pine under the conditions of introduction in Primorsky krai // *Prirodoobustrojstvo*. 2024. No. 2. P. 125-130. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-125-130>

Введение. В процессе интродукции древесных растений новые природно-климатические условия могут спровоцировать у них экологический стресс, аномалии роста и развития, а также привести к снижению продуктивности [1-3]. В ряде исследований отмечается превышение значимости климатических и географических факторов воздействия на генеративную сферу хвойных перед техногенными [4-5]. Это обстоятельство важно учитывать при выборе конкретных мест культивирования интродуцируемых видов в пределах региона интродукции. Особенная чувствительность к новым условиям характерна для ювенильной стадии онтогенеза и начала репродуктивной фазы, когда процессы споро- и гаметогенеза входят в соответствие с новым температурным и световым режимом [6]. Изучение генеративной сферы растений в условиях интродукции особенно актуально для выявления их репродуктивной способности. Определение качества пыльцы и семян растений, вступивших в фазу семеношения позволяет судить об их репродуктивной способности и степени адаптации к условиям интродукции.

Работа посвящена сравнительному изучению морфологии и качества пыльцы и семян видов рода *Pinus* при интродукции в условиях южной части Приморского края.

Цель исследований: изучение особенностей генеративного развития интродуцированных видов сосны на материале дендрария Горнотаежной станции.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в дендрарии Горнотаежной станции, расположенном в 25 км от г. Уссурийска. Объектами исследований послужили 6 интродуцированных видов сосны: крючкова-тая (*Pinus hamata* D. Sosn.), обыкновенная (*P. sylvestris* L.), горная (*P. montana* Mill. (*P. mugo* Turra), веймутова (*P. strobus* L.), скрученная (*P. contorta* var. *Murrayana* Balf.), банкса (*P. banksiana* Lamb.). В качестве контроля выступал вид местной флоры – сосна густоцветковая (*P. densiflora* Siebold et Zucc.).

Для каждого вида сосны собирали пыльцу в разные календарные сроки в зависимости от даты начала и окончания цветения. Сбор

проводили в первые дни выделения пыльцы в сухую погоду, место взятия образцов – средняя часть кроны с южной стороны.

На микропрепаратах были определены морфометрические показатели пыльцы: длина и высота тела и воздушных мешков. Также был произведен подсчет аномальных пыльцевых зерен.

Используемое оборудование – микроскоп Биомед-6 и окуляр-камера М510 с программным обеспечением ScopePhoto и TopView.

Условия для определения жизнеспособности пыльцы: проращивание в 15%-ном растворе сахарозы в термостате при температуре 25°C по методу «висячей капли» во влажной камере в трех повторностях. В качестве влажной камеры применяли предметное стекло с углублением посередине.

Пыльцу высевали в день сбора. Общее количество проросших пыльцевых зерен, сформировавших нормально развитую пыльцевую трубку и имеющих отклонения в ее развитии, подсчитывали через 5 дней. Жизнеспособными считали пыльцевые зерна, образовавшие трубки, длина которых была больше диаметра самих зерен [7-9]. В каждом варианте опыта измеряли диаметр и длину 100 нормально развитых пыльцевых трубок [3, 9].

Всхожесть и энергию прорастания семян определяли по ГОСТ 13056.6-97 [10]. При этом среди непроросших семян выделяли категории пустые, загнившие и здоровые непроросшие, количественно выраженные, в процентах от общего числа семян, взятых для анализа.

Статистическую обработку результатов производили стандартным методом [11].

Результаты и их обсуждение. По данным метеогруппы Горнотаежной станции, погодные условия в год проведения анализа были близкими к среднепогодным значениям (табл. 1).

Самые поздние сроки начала фазы пыления – у *P. mugo* и *P. strobus*. У этих же видов самый короткий период разлета пыльцы.

У остальных видов сроки прохождения данной фазы являются близкими, а самый протяженный период пыления отмечен у *P. hamata* и *P. contorta*.

Значения морфометрических характеристик пыльцы объектов исследований приведены в таблице 2.

Размеры пыльцевых зерен *P. hamata* и *P. sylvestris* близки между собой, как и количество, %, аномальных зерен. Видимо, здесь сказывается филогенетическое родство этих видов. Пыльцевые зерна *P. Strobis* близки по размеру местному виду *P. Densiflora* и имеют наибольшую величину среди изучаемой группы видов. Аномалии пыльцевых зерен не подразделяли на категории, и в таблице указаны их суммарные количества. Наибольшее количество обнаруженных нами аномалий – подковообразная форма тела, наличие одного воздушного мешка, а также мелкие или гипертрофированно крупные по сравнению с нормальными по размеру зернами. Аномальных пыльцевых зерен в образцах меньше всего у *P. densiflora* и *P. banksiana*, наибольшее их количество – у *P. contorta* и *P. mugo*.

Относительно оценки качества пыльцы у интродуцированных растений возникновение аномальных пыльцевых зерен является одной

из главных проблем. Пыльцевые зерна очень восприимчивы к смене условий среды обитания, что непременно возникает при интродукции, когда у интродуцируемых видов наблюдаются различные нарушения в генеративной сфере [12]. У всех видов сосны доля аномальных пыльцевых зерен невелика и не превышает 10% от общего количества.

При интродукции растения испытывают определенную долю стресса ввиду несоответствия условий среды своим генотипическим реакциям на внешние воздействия. При этом снижается качество пыльцы, наблюдаются многочисленные аномалии пыльцевых трубок. Это приводит к снижению уровня семеношения и формированию мелких недоразвитых семян [13]. Количество проросших пыльцевых зерен у всех видов находится на довольно высоком уровне (табл. 3). При этом *P. sylvestris* по этому показателю ненамного отличается от местной *P. densiflora*. Ненамного меньше эти значения у *P. banksiana*, а наименьшим количеством проросших зерен характеризуются *P. contorta* и *P. mugo*.

Таблица 1. Сроки пыления и погодные условия периода пыления 2017 г.

Table 1. Terms of dusting and weather conditions of the period of dusting in 2017

Вид <i>Species</i>	Сроки пыления <i>Dusting period</i>	Среднедекадная/минимальная температура воздуха, °С <i>Average decade / minimal air temperature, °C</i>	Влажность воздуха, % <i>Air humidity, %</i>	Осадки, мм <i>Precipitation, mm</i>
<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>hamata</i>	21.05-30.05	11,3/6,6	61,4	45,4
<i>P. sylvestris</i>	22.05-29.05	11,3/6,6	61,4	45,4
<i>P. mugo</i>	2.06-6.06	14,3/11,0	77,1	98,3
<i>P. strobis</i>	12.06-18.06	14,0/10,5	76,8	39,9
<i>P. contorta</i>	22.05-1.06	11,3/6,6	61,4	45,4
<i>P. banksiana</i>	19.05-27.05	11,3/6,6	61,4	45,4
<i>P. densiflora</i>	23.05-31.05	11,3/6,6	61,4	45,4

Таблица 2. Морфометрические показатели пыльцевых зерен видов сосны

Table 2. Morphometric parameters of pollen grains of pine species

Параметры / Виды <i>Parameters / Species</i>	<i>P. sylvestris</i> var. <i>hamata</i>	<i>P. sylvestris</i>	<i>P. mugo</i>	<i>P. strobis</i>	<i>P. contorta</i>	<i>P. banksiana</i>	<i>P. densiflora</i>
Длина тела, мкм <i>Body length, μm</i>	37,5 ± 0,52	36,5 ± 0,58	36,3 ± 0,84	43,4 ± 0,35	35,6 ± 0,43	36,7 ± 0,54	42,4 ± 0,31
Высота тела, мкм <i>Body height, μm</i>	34,6 ± 0,34	35,2 ± 0,33	34,4 ± 0,29	35,9 ± 0,31	34,1 ± 0,38	35,5 ± 0,37	35,8 ± 0,36
Длина воздушного мешка, мкм <i>Air sack length, μm</i>	18,1 ± 0,33	18,5 ± 0,28	18,5 ± 0,24	19,2 ± 0,22	17,7 ± 0,25	18,3 ± 0,25	18,2 ± 0,29
Высота воздушного мешка, мкм <i>Air sack height, μm</i>	27,7 ± 0,29	29,6 ± 0,34	28,4 ± 0,32	25,7 ± 0,28	23,6 ± 0,36	26,6 ± 0,36	24,5 ± 0,23
Доля аномальных пыльцевых зерен, % <i>Share of abnormal pollen grains, %</i>	6,5 ± 0,28	6,3 ± 0,29	8,5 ± 0,41	7,1 ± 0,38	9,2 ± 0,33	5,3 ± 0,37	5,1 ± 0,36

Для всех видов сосны в основном характерны нормально проросшие пыльцевые зерна с одной неразветвленной трубкой. У *P. densiflora*, *P. sylvestris*, *P. banksiana* и *P. hamata* начало прорастания зафиксировано на второй день, у остальных видов – на третий. Возможно, с этим связано различие в количестве проросших пыльцевых зерен (показатель жизнеспособности пыльцы) между видами за период 5 дней. На шестой день подсчет прекратили по причине активного развития плесневых грибов во всех вариантах опыта.

Длина пыльцевой трубки, фиксируемая у разных видов за одинаковый промежуток времени, может свидетельствовать об энергии прорастания пыльцы. Наибольшая длина пыльцевых трубок через 5 дней после постановки опыта зафиксирована у *P. sylvestris* и *P. banksiana*, наименьший показатель – у *P. contorta* и *P. mugo*. Остальные виды имеют средние значения. Из данных таблицы 3 следует, что для видов сосны с наибольшим количеством проросших пыльцевых зерен характерно и большее значение длины пыльцевой трубки. Относительно размеров пыльцевого зерна такая закономерность не прослеживается.

Посевные качества – это совокупность свойств семян, характеризующих степень их пригодности для посева (в том числе энергия прорастания и всхожесть, отсутствие или наличие признаков болезней).

Наилучшей лабораторной всхожестью характеризуются семена сосен густоцветковой, обыкновенной, Банкаса, крючковатой и веймутовой (табл. 4).

Грунтовая всхожесть семян, как и ожидалось, ниже лабораторной и в процентном соотношении повторяет ее показатели. Низкие значения этих двух параметров у сосен горной и скрученной соотносятся с относительно более низкой жизнеспособностью пыльцы этих видов. Исследованиями жизнеспособности пыльцы у разных деревьев сосны не установлена связь между качеством пыльцы и интенсивностью семеношения (урожайностью) дерева [14]. Однако на формирование полнотельных семян степень жизнеспособности пыльцы оказывает прямое влияние.

Энергия прорастания также является важным показателем качества посевного материала. Семена с низкой энергией прорастания хуже переносят неблагоприятные условия среды, чаще

Таблица 3. Жизнеспособность пыльцы видов сосны

Table 3. Pollen viability of pine species

Вид <i>Species</i>	Кол-во проросших пыльцевых зерен, % <i>Number of germinated pollen grains, %</i>	Длина пыльцевой трубки / <i>Length of pollen tube</i>	
		$X \pm S_x$, мкм $X \pm SX$, μm	CV, %
<i>P. sylvestris</i> var. <i>hamata</i>	75,2	65,1 \pm 2,24	35,4
<i>P. sylvestris</i>	85,4	76,1 \pm 1,55	28,9
<i>P. mugo</i>	65,8	63,7 \pm 1,40	24,6
<i>P. strobus</i>	71,9	68,5 \pm 1,55	32,4
<i>P. contorta</i>	63,6	62,7 \pm 2,41	33,7
<i>P. banksiana</i>	79,6	73,4 \pm 2,73	38,1
<i>P. densiflora</i>	84,3	78,1 \pm 3,16	27,5

Примечание. $X \pm S_x$ – среднее значение и его ошибка; CV – коэффициент вариации

Note. $X \pm SX$ is the average value and its error; CV is the coefficient of variation

Таблица 4. Качественная характеристика семян сосен

Table 4. Qualitative characteristics of pine seeds

Растения <i>Plants</i>	Энергия прорастания, % <i>Germination energy, %</i>	Лабораторная всхожесть, % <i>Laboratory germination, %</i>	Непроросшие семена, % <i>Ungerminated seeds, %</i>			Грунтовая всхожесть, % <i>Ground germination, %</i>
			Пустые <i>Empty</i>	Загнившие <i>Rotten</i>	Здоровые <i>Healthy</i>	
<i>P. mugo</i>	11	21	70	3	6	8
<i>P. densiflora</i>	63	75	20	3	2	46
<i>P. sylvestris</i>	62	66	31	2	1	35
<i>P. strobus</i>	51	62	33	1	4	44
<i>P. sylvestris</i> var. <i>hamata</i>	55	64	28	5	3	36
<i>P. contorta</i>	24	42	51	5	2	18
<i>P. banksiana</i>	63	67	26	4	3	29

подвержены заболеваниям, в условиях питомника они менее конкурентоспособны по отношению к семенам сорных растений и возбудителям болезней. Семена, обладающие низкой энергией прорастания, в итоге имеют низкую всхожесть.

Среди непроросших семян подавляющее большинство относится к пустым. Семян здоровых, но не проросших по невыясненным причинам, – у всех видов минимальное количество. С признаками загнивания – совсем небольшое количество семян, что косвенно может свидетельствовать о благоприятной фитопатогенной обстановке в месте расположения дендрария.

Выводы

1. Размеры пыльцевого зерна являются видовой характеристикой и не могут быть отнесены

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012200183-8).

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 124012200183-8).

Список использованных источников

1. Некрасов В.И. Интродукция древесных растений и проблемы лесоведения // Лесоведение. 1991. № 6. С. 74-82.
2. Мамаев С.А., Андреев Л.Н. Роль ботанических садов России в сохранении флористического разнообразия // Экология. 1996. № 6. С. 453-458.
3. Владимирович О.С., Муратова Е.Н., Седяева М.И. Пыльца ели сибирской, произрастающей в различных экологических условиях // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1. С. 98-102.
4. Носкова Н.Е. Половая репродукция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях экологического стресса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005. 20 с.
5. Шкутко Н.В. Развитие генеративных почек у хвойных растений, интродуцированных в БССР // Половая репродукция хвойных: Материалы I Всесоюзного симпозиума. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1973. Т. 2. С. 132-134.
6. Голубинский И.Н. Биология прорастания пыльцы. Киев: Наукова думка, 1974. 367 с.
7. Горячкина О.В., Седяева М.И. Морфология и качество пыльцы у видов рода *Picea* (PINACEAE) из коллекции дендрария Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН // Растительный мир Азиатской России. № 2 (10). С. 27-32.
8. Ларина Н.П., Носкова Н.Е. Качество пыльцы сосны обыкновенной в окрестностях г. Тайшета // Проблемы современной аграрной науки: материалы Международной заочной научной конференции. Красноярск: КГАУ, 2012. С. 137-141.
9. Ефремов С.П. Морфология и жизнеспособность пыльцы желто- и краснопыльничковой форм сосны обыкновенной на болотах и суходолах Западной Сибири / Пименов А.В., Седельникова Т.С., Петрова И.В., Санников С.Н. // Хвойные бореальной зоны. 2011. № 1-2. С. 126-129.

к критериям оценки качества генеративного процесса.

2. Жизнеспособность пыльцы имеет прямую взаимосвязь с интенсивностью роста пыльцевых трубок. У видов, формирующих пыльцу с высокой жизнеспособностью, энергия прорастания и длина пыльцевых трубок выше.

3. Значения всхожести и энергии прорастания семян соотносятся с показателями жизнеспособности пыльцы исследуемых видов.

4. *P. banksiana*, *P. sylvestris* var. *hamata*, *P. strobus* и особенно *P. sylvestris* можно признать обладающими достаточно большим потенциалом по отношению к благоприятному развитию эмбриональной стадии в генеративном процессе, и как следствие – к формированию полноценных семян при интродукции в условиях Приморского края.

References

1. Nekrasov V.I. Introduction of woody plants and problems of forestry // Lesovedenie. 1991. No. 6. P. 74-82.
2. Mamaev S.A., Andreev L.N. The role of Russian botanical gardens in the conservation of floristic diversity // Ecology. 1996. No. 6. P. 453-458.
3. Vladimirova O.S., Muratova E.N., Sedyaeva M.I. Pollen of the Siberian spruce growing in different ecological conditions // Coniferous boreal zone. 2008. V. 25, No. 1. P. 98-102.
4. Noskova N.E. Sexual reproduction of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under environmental stress: Abstract of the thesis. dis. for the scientific degree cand. biol. Sciences. Krasnoyarsk, 2005. 20 p.
5. Shkutko N.V. Development of generative buds in conifers introduced into the BSSR // Sexual reproduction of conifers: Materials of the 1st All-Union. sympos. Novosibirsk, 1973, vol. 2. P. 132-134.
6. Golubinsky I.N. Biology of pollen germination. Kyiv: Nauk. Dumka, 1974. 367 p.
7. Goryachkina O.V., Sedyaeva M.I. Morphology and quality of pollen in species of the genus *Picea* (PINACEAE) from the collection of the arboretum of the Institute of Forestry. V.N. Sukachev SB RAS // Rust. Asian world. Russia. 2012. No. 2 (10). P. 27-32.
8. Larina N.P., Noskova N.E. Pollen quality of Scots pine in the vicinity of Taishet // Problems of modern agrarian science: materials of the international. in absentia scientific Conf., Krasnoyarsk, October 15, 2012 / Ministry of Agriculture. farm Ros. Federation, Krasnoyarsk. state agrarian un-t. – Krasnoyarsk, 2012. P. 137-141.
9. Efremov S.P. Morphology and viability of pollen of yellow and red anthered forms of Scots pine in swamps and dry valleys of Western Siberia / Pimenov A.V., Sedelnikova T.S., Petrova I.V., Sannikov S.N. // Coniferous boreal zone. 2011. No. 1-2. P. 126-129.

10. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. 10 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025567?ysclid=lumfc83171618711401>.

11. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.

12. Левина Р.Е. Репродуктивная биология семенных растений: (Обзор пробл.). М.: Наука, 1981. 96 с.

13. Некрасова Т.П. Влияние температуры воздуха на формирование пыльцы хвойных древесных пород // Лесоведение. 1976. № 6. С. 23-31.

14. Беспаленко О.Н. Индивидуальная изменчивость семеношения и способы создания семенных плантаций сосны обыкновенной в Центральной лесостепи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 1985. 24 с. EDN: ZAESQ

10. GOST 13056.6-75 Seeds of trees and shrubs. Germination methods. 10 p. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025567?ysclid=lumfc83171618711401>

11. Schmidt V.M. Mathematical methods in botany. L.: Publishing House of Leningrad State University, 1984. 288 p.

12. Levina R.E. Reproductive biology of seed plants. M.: Nauka, 1981. 96 p.

13. Nekrasova T.P. Influence of air temperature on the formation of pollen of coniferous tree species // Forest Science. 1976. No. 6. P. 23-31

14. Bepalenko O.N. Individual variability of seed production and methods of creating seed plantations of Scots pine in the Central forest-steppe: specialty 03.02.07 "Genetics": abstract of the dissertation for the degree of candidate of biological sciences / O.N. Bepalenko. Voronezh, 1985. 24 p. EDN ZAESQB.

Об авторе

Евгений Николаевич Репин, канд. с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0003-0993-4881, revnik59@yandex.ru

Author information

Evgeny N. Repin, CSc (Agro), associate professor; senior researcher; ORCID: 0000-0003-0993-4881, revnik59@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Репин Е.Н. выполнил практические и теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Repin E.N. carried out practical and theoretical research, on the basis of which he carried out a generalization and wrote a manuscript, has copyright on the article and is responsible for plagiarism.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review vised 21.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.02.2024

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-131-137>

УДК 631.6:630*228:631.53



ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ХУРМЫ ВИРГИНСКОЙ В ФИТОЧАЙНОЙ КУЛЬТУРЕ

Г.А. Сурхаев, Г.М. Сурхаева

Федеральный научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения; 400062, г. Волгоград, пр-кт Университетский, 97, Россия

Аннотация. Цель исследований – разработать оптимальные технологические параметры формирования и приемы сезонной эксплуатации фиточайных насаждений хурмы виргинской в целях фитомелиоративного освоения низкопродуктивных песчаных земель региона. В конце прошлого века, в условиях нарастающего изменения климата в Восточном Предкавказье, на экспериментальном полигоне интродукции древесной флоры Ачикулакской НИЛОС ВНИАЛМИ были начаты работы по адаптации в умеренной зоне региона ряда хозяйственно-ценных субтропических культур, в числе которых – и хурма виргинская (*Diospiros virginiana*. L). Работы проводились в целях фитомелиоративной реабилитации деградированных низкопродуктивных песчаных земель в наиболее термообеспеченной части территории, на песках Терско-Кумского междуречья. Потенциал ее натурализации проявляется не только высокой толерантностью к окружающей среде (жароустойчивость, засухоустойчивость, морозоустойчивость), но и значительной пищевой ценностью наряду с плодами и листьями древесного растения, отличающимися большим содержанием биоактивных веществ (витамины, органические кислоты, минералы и др.). Это обуславливает возможность и перспективу освоения субтропического многолетника в фиточайной культуре выращивания бескофеинового сырья целебного листового напитка. Работа выполнена в 2012-2020 гг. для разработки эффективных приемов формирования, эксплуатации тизан-насаждений хурмы и утилизации ее листовой массы в ценную органическую продукцию пищевого и лечебного назначения.

Ключевые слова: фитомелиорация, культуры-интродуценты, фиточайные насаждения, фиточай, субтропические культуры, хурма, тизан-напитки

Формат цитирования: Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М. Опыт и перспективы фиточайного освоения культуры хурмы виргинской в Восточном Предкавказье // Природообустройство. 2024. № 2. С. 131-137. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-131-137>

Original article

EXPERIENCE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF VIRGINIA PERSIMMON IN PHYTO TEA CULTURE

H.A. Surkhaev, G.M. Surkhaeva

Federal scientific center for agroecology of complex land reclamation and protective afforestation; 97, Universitetsky Avenue, 400062, Volgograd, Russia

Abstract. The purpose of the research is to develop optimal technological parameters for the formation and methods of seasonal exploitation of phyto tea plantations of Virgin persimmon for the purpose of phyto meliorative development of low-productive sandy lands of the region. At the end of the last century, under the conditions of increasing climate change in the Eastern Caucasus, at the experimental site for the introduction of woody flora, the Achikulak NILOS VNIALMI, work began on the adaptation in the temperate zone of the region of a number of economically valuable subtropical crops, including the Virginian persimmon (*Diospiros virginiana*. L) for the purpose of phyto meliorative development of low-yielding sandy lands in the most thermally secure part of the territory, on the sands of the Tersko-Kuma interfluvium. The potential of its naturalization is manifested not only by high tolerance to the environment (heat resistance, drought resistance, frost resistance), but also by significant nutritional value, along with fruits and leaves of a woody plant, with a high content of bioactive substances (vitamins, organic acids, minerals, etc.), which determines the possibility and prospect of developing a subtropical perennial in a phyto tea culture cultivation of caffeine-free raw materials of medicinal leaf drink. The work was completed in 2012-2020 to develop effective methods for the formation, operation of persimmon tizan plantations and utilization of its leaf mass into valuable organic products for food and medicinal purposes.

Keywords: phyto tea, subtropical crops, persimmon, tisane drinks, phyto melioration, introduced crops, phyto tea plantations

Format of citation: Surkhaev G.A., Surkhayeva G.M. Experience and prospects of development of virginia persimmon in phyto tea culture // Prirodoobustrojstvo, 2024, № 2. P. 131-137. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-131-137>

Введение. Терско-Кумские пески – район проведения работы, обширная (около 1 млн га) территория Восточного Предкавказья, издавна используемая в целях кочевого и полуседелого животноводства, преимущественно овцеводства аридного региона [1]. Однако значительные площади (100-120 тыс. га) ее близководных песков являются потенциально пригодными в фитомелиоративном освоении аридных земель с привлечением хозяйственно-ценных культур не только умеренного (виноград, смородина, шиповник абрикос, алыча, груша и др.), но и субтропического (унаби, хурма, гранат, инжир, маклюра и др.) климата благодаря высокой термообеспеченности территории [2, 3].

В конце прошлого столетия, в условиях меняющегося к потеплению климата региона, на экспериментальном полигоне адаптации древесной флоры Ачикулакской НИЛОС ВНИ-АЛМИ были начаты работы по подбору и интродукции некоторых наиболее морозостойчивых субтропических хозяйственно-ценных плодовых культур, в число которых вошла и хурма виргинская (*Diospyros virginiana*. L), в целях разработки

технологий ее участия в фитомелиорации низкопродуктивных земель (песков) региона [4].

В ходе многолетнего изучения культуры на песках Восточного Предкавказья установлено, что хурма виргинская обладает не только высоким биоэкологическим, но и пищевым потенциалом, так как, кроме плодов и листьев древесного растения, представляют кладезь биоактивных веществ витамины, минералы, органические кислоты и др., по биохимическому составу лишь немногим уступающие чайному растению [5, 6] (табл. 1). Поэтому ее бескофеиновый тизан-напиток в районах традиционного возделывания культуры издавна применяют в профилактике и лечении болезней органов дыхания, печени, почек, сердца [7]. Этому способствует и очень высокое (3000 мг/%) содержание в листьях хурмы витамина С, уровень которого в 20 раз больше, чем в листьях камелии [8].

Хурма виргинская – листопадное плодое субтропическое дерево, эндемик Североамериканского континента (юго-восточные районы США), культура которого заходит далеко на север страны, до штата Онтарио (Канада) [9]. Она

Таблица 1. Сравнительная оценка биохимического состава листьев хурмы виргинской и камелии китайской

Table 1. Comparative assessment of the biochemical composition of persimmon leaves and camellia sinensis

Культура <i>Culture</i>	Содержание биоактивных веществ / Content of bioactive substances					
	Витамины <i>vitamins</i>	Макро- и микроэлементы <i>macro- and micro elements</i>	Полифенолы <i>polyphenols</i>	Органические кислоты <i>organic acids</i>	Алкалоиды <i>alkaloids</i>	Другие соединения <i>other compounds</i>
Хурма виргинская (<i>Diospyros virginiana</i> . L.)	C; PP; B ₁ ; B ₂ ; B ₃ ; E; A	J; Fe; Co; Mg; K; P; Mn	антоцианы, лейкоантоцианы, танин, астроганин <i>anthocyanins, leucoanthocyanins, tannin, astroganin</i>	яблочная, винная, лимонная <i>apple, wine, lemon</i>	–	углеводы, белки, пектины, ферменты, пигменты <i>carbohydrates, proteins, pectins, enzymes, pigments</i>
Камелия китайская (<i>Camellia sinensis</i> . L.)	B ₁ ; B ₂ ; B ₃ ; C; PP; K; P	K; Ca; Mg; Fe; Na; Al; Mn; Sr; Ni; Cu; Zn; Ba; Rb; T; Cr; Sn; Ag; V	катехины, теогаллин, антоцианы, лейкоантоцианы, танин <i>catechins, theogalline, anthocyanins, leucoanthocyanins, tannin</i>	яблочная, янтарная, лимонная, щавелевая, молочная <i>apple, amber, lemon, oxalic, dairy</i>	кофеин, гуанин, аденин, теофелин, теобромин <i>caffeine, guanine, adenine, theophylline, theobromine</i>	спирты, пигмент, пектины, ферменты <i>alcohols, pigment, pectins, enzymes</i>

является чрезвычайно толерантной к экологическим условиям, поэтому растет и плодоносит на разных типах малоплодородных почв (каменистые, известковые, сланцевые) и даже на участках прибрежных морских песков, а по зимостойкости находится в ряду самых стрессоустойчивых субтропических плодовых растений, выдерживая в холодном периоде понижение температуры до $-27-30^{\circ}\text{C}$, без значительных повреждений кроны дерева [10, 11].

Цель исследований: разработать оптимальные технологические параметры формирования и приемы сезонной эксплуатации фиточайных насаждений хурмы виргинской в целях фитомелиоративного освоения низкопродуктивных песчаных земель региона.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в период 2012-2020 гг. на экспериментальном участке фиточайных насаждений субтропических культур-интродуцентов Ачикулакской НИЛОС ВНИАЛМИ (СКФ ФНЦ агроэкологии РАН), в том числе хурмы виргинской (рис. 1).

Экспериментальные объекты заложены по вариантам разной густоты ленточной двухрядной посадки (27 м^2) однолетних сеянцев хурмы на единице, 1 м^2 , площади: вариант 1 – малая (10 шт.); вариант 2 – средняя (20 шт.); вариант 3 (30 шт.). С 3-летнего возраста, по достижении необходимой высоты бордюрной посадки (100-120 см), был начат сбор фитосырья в четырех циклах (май, июнь, июль, август, сентябрь)

сезонного среза (20 см) массы верхушечных побегов зеленого полога растений (рис. 2).

Мониторинговые исследования роста и биопродуктивности тизан-массы растений проводились с использованием общепринятых научных разработок [12-14] в ходе ежедекадных биометрических учетов прироста и массы вегетативных побегов с листьями, по циклам листосбора. А переработка тизан-сырья осуществлялась в лабораторном помещении ручными приемами получения фиточайного продукта:

1 – первичная сушка (до 30-35%) листьев нетолстым (5-7 см) слоем в течение 6-8 ч при t° около 30°C ;

2 – измельчение листовой массы в гранулы механическим «волчком»;

3 – сушка «гранулята» тонким (0,5-1 см) слоем под влажной двухслойной марлей в течение 8-10 ч при температуре около 30°C ;

4 – завершающий цикл получения ферментированного фиточая – горячая (70°C) сушка гранул в термощкафу в течение 5-6 ч.

Дегустационная оценка экспериментальных образцов фиточая проводилась по трем основным органолептическим признакам пищевого продукта (цвет, вкус, аромат) с использованием авторской 5-балльной шкалы качества тизан-напитков:

1 – цвет блеклый, вкус и аромат отсутствуют;

2 – цвет бледного оттенка, вкус и аромат слабые;

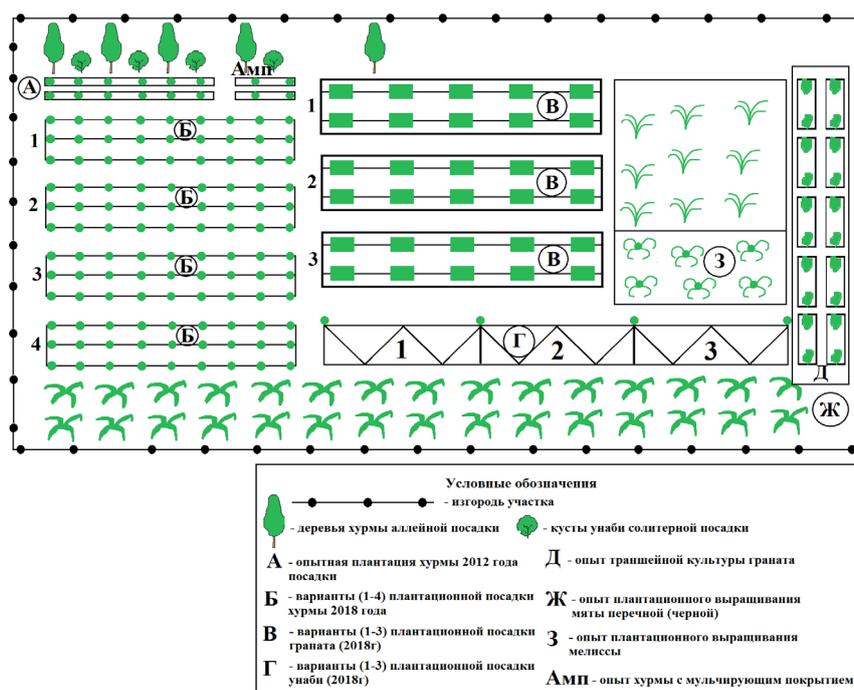


Рис. 1. Схема закладки объектов на экспериментальном участке НИР

Fig. 1. Diagram of the laying of objects at the experimental site SWR



Рис. 2. Опыт хурмы виргинской в фиточайной культуре на участке субтропических тизан-насаждений

Fig. 2. The experience of virginia persimmon in phyto tea culture on a site of subtropical tisane plantations

3 – цвет, вкус и аромат удовлетворительные;

4 – цвет яркий, вкус и аромат хорошие;

5 – цвет яркий, очень красивый, вкус и аромат отличные.

Результаты и их обсуждение. За исключением чайной культуры (Дагомьис, Черноморское побережье и Майкопский район Адыгеи), опыт выращивания в нашей стране для тизан-сырья других субтропических древесных отсутствует, поэтому представляются актуальными исследования натурализованной хурмы виргинской в фиточайной культуре Восточного Предкавказья в целях обоснования ее технологического и пищевого потенциала в освоении низкопродуктивных песчаных земель региона [15, 16].

В фиточайном опыте морфогенез восстановления вегетативных побегов хурмы

происходит с набухания спящих (на стволиках) и пазушных (на прилистниках) почек растений на третий-четвертый, а их развертывание – на пятый-шестой дни после среза листового полога. Процесс же регенерации побегов сопровождается нарастающим приростом поросли с кульминацией ее темпов во второй половине месячного цикла, на который приходится около 70% высоты возобновления (табл. 2).

В фитосборной массе наблюдается значительная разноморфность листьев, в которой доля мелких по количеству и массе прямо коррелирует с густотой насаждений, общая сезонная по четырем циклам фитопродуктивность листосбора хурмы проявляется ростом урожайности в опыте средней густоты насаждения на 43% по сравнению с вариантом малой плотности посадки растений, а после – спадом на 14% в варианте с большой густотой фиточайного насаждения (табл. 3).

Возможность многократного фитосбора хурмы обусловлена ее биологией, и прежде всего – высоким регенеративным потенциалом порослеобразования побегов в ходе фитосборного среза древесного растения.

Установлено, что увеличение густоты фиточайных насаждений сопровождается обратной корреляцией регенеративной активности растений: сокращением прироста, количества и массы новообразований – побегов и листьев на среднем учетном растении (табл. 4).

По данным многолетнего (2014-2019 гг.) мониторинга продуктивности хурмы в фиточайном опыте, в вариантах с разной густотой посадки растений сначала, до 6-летнего возраста, ежегодная прибавка фитомассы составляла 30-40%, а после этого прирост урожайности уже не превышал 10-12% сезонного сбора листового сырья (табл. 5).

Таблица 2. Динамика прироста побегов в сезонных циклах регенерации срезанных фиточайных растений

Table 2. Dynamics of shoot growth in seasonal regeneration cycles of cut phyto tea plants

Густота посадки <i>Planting density</i>	Циклы регенерации <i>Regeneration cycles</i>	Линейный полудекадный прирост побегов, см <i>Linear semi-decadal growth of shoots, cm</i>					
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30
Малая (10 шт./м ²) <i>Small (10 pcs/m²)</i>	I	-	3.1	6.7	13.1	28.3	42.7
	II	-	2.9	6.3	11.8	26.1	29.5
	III	-	1.8	3.4	7.1	15.2	20.3
Средняя (20 шт./м ²) <i>Average (20 pcs/m²)</i>	I	-	2.6	6.1	11.5	25.8	34.9
	II	-	2.2	4.8	8.6	19.3	31.1
	III	-	1.9	3.6	6.8	14.3	22.4
Большая (30 шт./м ²) <i>Big (30 pcs/m²)</i>	I	-	1.7	5.1	8.4	21.8	31.1
	II	-	1.2	3.7	6.8	20.4	27.2
	III	-	0.8	2.2	4.8	9.7	14.6

I – июнь; II – июль; III – август / I – June; II – July; III – August

Таблица 3. Оценка морфогенеза и урожайность хурмы
в разных вариантах фиточайного опыта

Table 3. Assessment of the morphogenesis and yield capacity of persimmon
in different variants of the phyto tea experience

Густота посадки <i>Planting density</i>	Циклы фитосбора <i>Phyto collection cycles</i>	Большие <i>Large</i>		Средние <i>Medium</i>		Мелкие <i>Small</i>		Фитомасса <i>Phytomass</i>	
		шт. / pc	г. / g.	шт. / pc	г. / g.	шт. / pc	г. / g.	г/раст / g/plant	ц/га / c/ha
Малая (10шт./м ²) <i>Small (10 pcs / m²)</i>	Июнь / <i>June</i>	48	0.9	82	3.6	88	8.1	12.6	6.3
	Июль / <i>July</i>	45	0.7	58	3.1	66	6.9	10.7	5.4
	Август / <i>August</i>	38	0.7	38	2.3	43	4.5	7.8	3.9
	Сентябрь / <i>September</i>	9	0.1	19	1.2	14	1.5	2.8	1.4
Средняя (20 шт./м ²) <i>Average (20 pcs / m²)</i>	Июнь / <i>June</i>	73	1.3	74	3.2	82	7.5	11.0	11.0
	Июль / <i>July</i>	68	1.2	54	2.4	59	5.4	9.1	9.1
	Август / <i>August</i>	63	1.2	33	1.5	37	3.5	6.2	6.2
	Сентябрь / <i>September</i>	19	0.3	17	1.3	11	1.5	3.1	3.1
Большая (30 шт./м ²) <i>Big (30 pcs / m²)</i>	Июнь / <i>June</i>	84	1.5	47	1.8	32	3.0	6.3	9.3
	Июль / <i>July</i>	87	1.5	29	1.3	29	2.5	5.3	7.9
	Август / <i>August</i>	41	0.9	24	0.4	31	2.6	3.9	5.8
	Сентябрь / <i>September</i>	37	0.5	14	0.4	9	0.8	1.7	2.5

Таблица 4. Динамика регенеративной активности хурмы
в разновариантном опыте посадки растений

Table 4. Dynamics of regenerative activity of persimmon plants
in different variants experiment of planting density

Густота посадки <i>Planting density</i>	Циклы роста <i>Growth cycles</i>	Оценка новообразований контрольного растения / <i>Assessment of neoformations in a control plant</i>					
		количество, шт <i>quantity, pcs</i>		прирост побегов с листьями <i>growth of shoots, cm</i>		масса прироста <i>weight of growth gain, g</i>	
		побеги / <i>shoots</i>	листья / <i>leaves</i>	общий / <i>total</i>	средний / <i>average</i>	листья / <i>leaves</i>	побеги / <i>shoots</i>
Малая (10шт./м ²) <i>Small (10 pcs / m²)</i>	I	21	273	531.3	28.1	57.3	11.8
	II	19	251	425.8	25.2	41.9	8.3
	III	8	97	103.3	17.3	16.6	3.8
Средняя (20шт./м ²) <i>Medium (20 pcs / m²)</i>	I	17	238	431.5	25.8	48.8	10.1
	II	14	211	339.7	24.6	33.9	6.8
	III	7	81	91.4	17.9	19.1	3.2
Большая (30шт./м ²) <i>Large (30 pcs / m²)</i>	I	12	171	311.1	22.3	34.9	6.3
	II	8	109	197.3	19.1	31.8	5.9
	III	4	49	68.8	13.4	10.2	2.4

Таблица 5. Динамика многолетней урожайности хурмы виргинской
в разновариантном опыте фиточайных насаждений (2014-2019 гг.)

Table 5. Dynamics of long-term yield of Virginian persimmon in the varietal experience
of herbal plantations (2014-2019)

Вариант густоты посадки растений (шт. м ²) <i>Planting density variant (pcs. m²)</i>	Циклы листосбора <i>Cycles of leaves collection</i>	Сухая масса фитосбора по годам, ц/га <i>Dry weight of phytocollection by year, kg / ha</i>					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
А – малая – 10 <i>Small</i>	Июнь / <i>June</i>	6,8	9,1	11,2	12,7	13,6	14,8
	Июль / <i>July</i>	6,1	7,8	9,6	10,8	11,4	12,1
	Август / <i>August</i>	3,3	3,7	4,9	5,6	6,1	6,7
	Сентябрь / <i>September</i>	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9
Б – средняя – 20 <i>Average</i>	Июнь / <i>June</i>	7,7	9,9	12,8	13,6	14,4	15,6
	Июль / <i>July</i>	7,1	8,3	11,7	12,4	13,1	13,8
	Август / <i>August</i>	3,7	4,5	6,2	6,6	7,2	7,5
	Сентябрь / <i>September</i>	1,8	1,9	2,3	2,5	2,9	3,2
В – большая – 30 <i>Big</i>	Июнь / <i>June</i>	6,2	8,7	10,7	12,1	13,1	14,3
	Июль / <i>July</i>	5,4	6,8	8,4	10,3	10,9	11,8
	Август / <i>August</i>	3,1	4,4	4,7	5,8	6,3	6,6
	Сентябрь / <i>September</i>	0,9	1,8	2,1	2,6	3,1	3,3

Завершающим этапом работы стали исследования приемов переработки листового сырья для получения экспериментальных образцов тизан-напитков моно- и поликомпонентного состава на основе гранулированных листьев хурмы виргинской. В качестве натуральных добавок-ароматизаторов (мята перечная, чабрец, Melissa)

и подсладителя (стевия) использована масса гранулированного сырья, полученного на экспериментальном участке фиточайных растений. Подобранные опытным путем лучшие моно- и поликомпонентные образцы тизан-напитков имеют высокую дегустационную оценку фиточайной продукции органического качества (табл. 6).

Таблица 6. Органолептическая оценка образцов ферментированных моно- и поликомпонентных фиточаев

Table 6. Organoleptic evaluation of samples of fermented mono- and polycomponent phyto teas

Наименование и состав фиточая <i>Name and composition of phyto tea</i>	Балл дегустации (1-5) <i>Ball of degustation</i>			Средний балл <i>Average ball</i>
	цвет <i>color</i>	вкус <i>taste</i>	аромат <i>aroma</i>	
1. «Виргинис» (монокомпонентный: хурма – 100%) <i>2. Virginias (monocomponent: Virginian persimmon – 100%)</i>	5	5	4	4,7
3. «Зифа» (поликомпонентный: хурма – 95%; чабрец – 5%) <i>4. Ziffa (polycomponent: Virginian persimmon – 95%, thyme – 5%)</i>	5	5	5	5,0
3. «Хурмай» (поликомпонентный: хурма – 90%; чабрец – 5%, мята – 5%) <i>Virginian persimmon (polycomponent: Virginian persimmon – 90%, thyme – 5%, mint – 5%)</i>	5	5	5	5,0
5. «Витис» (поликомпонентный: хурма – 85%; чабрец – 5%, мята – 5%, Melissa – 5%, стевия – 5%) <i>Vitis (polycomponent: Virginian persimmon – 85%, thyme – 5%, mint – 5%, melissa – 5%, stevia – 5%)</i>	5	4	5	4,7

Выводы

По данным изучения хурмы виргинской в опыте фиточайных насаждений, растения имеют устойчивые показатели роста и возобновления фиточайной массы по каждому циклу ее сезонного сбора, а образцы тизан-напитков – высокую органолептическую оценку ценного пищевого продукта органического качества.

В ходе экспериментальных исследований установлена оптимальная густота (20 шт/м²) формирования бордюрной модели тизан-насаждений хурмы виргинской в целях мелиоративного освоения низкопродуктивных песчаных земель Восточного Предкавказья.

Работа выполнена в рамках государственного задания 0713-2020-0002 по теме «Разработать улучшенные технологические приемы получения фиточайной и фитоэкстрактной продукции листосборных насаждений унаби, хурмы и граната при агролесомелиоративном освоении низкопродуктивных и деградированных песчаных земель Восточного Предкавказья»

The work was carried out within the framework of the state assignment 0713-2020-0002 on the topic "To develop improved technological methods for obtaining phytotea and phytoextract products of unabi, persimmon and pomegranate leaf collection plantations in the agroforestry reclamation of low-productive and degraded sandy lands of the Eastern Ciscaucasia"

Список использованных источников

- Кулик К.Н. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» / Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. // Аридные экосистемы. 2018. № 1 (74). С. 5-12.
- Кулик Н.Ф. Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 280 с.
- Сурхаев Г.А., Вдовенко А.В. Оптимизация выращивания и использования интродуцентов унаби, хурмы и граната в фитомелиорации земель Терско-Кумского междуречья // Вестник научных конференций. Сборник научных статей. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2015. С. 194-198.

References

- Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. To the 30th anniversary of the "General scheme for combating desertification of Black lands and Kizlyar pastures" // Arid ecosystems. 2018. No. 1(74). P. 5-12.
- Kulik N.F. The water regime of the sands of the arid zone M.: Hydrometeoizdat. 1979. P. 280.
- Surkhaev G.A., Vdovenko A.V. Optimization of cultivation and use of introduced unabi, persimmon and pomegranate in phytomelioration of the lands of the Tersko-Kuma interfluvium // Bulletin of scientific conferences. Collection of scientific articles. Volgograd: VNIALMI., 2015. P. 194-198..

4. Сурхаев Г.А. Интродукция субтропических культур унаби, хурмы и граната в Восточном Предкавказье в связи с перспективой мобилизации их фитосырья для пищевых и лекарственных целей / Сурхаев И.Г., Стародубцева Г.П., Любая С.И. // Сборник материалов международной конференции: Перспективы лекарственных растений М.: ВИЛАР, 2018. С. 228-237.

5. Майсурадзе З.А. Производство чаеподобных продуктов из субтропической хурмы / Такидзе Р.М., Майсурадзе Д.А., Дживелидзе Ц.А., Салуквадзе М.М. // Проблемы безопасности пищевых продуктов: Труды Международной научно-практической конференции. Тбилиси: ГГТУ, 2008. С. 257-259.

6. Бирюкова Н.В., Павлюк Е.Д. Анализ листьев чая (*Camellia sinensis*. L) и оценка перспектив использования в медицине // Научное наследие. 2021. № 67. С. 26-28.

7. Гребенникова О.А., Мельников В.А. Аскорбиновая кислота в плодах и листьях некоторых видов хурмы в условиях Южного берега Крыма // Бюллетень ГНБС. 2020. Вып. 136. С. 116-128.

8. Ахунд-Заде И.М. Итоги интродукции и перспективы развития хурмы в Азербайджане. Баку: Изд-во Академии наук АзССР, 1957. 107 с.

9. Briand C.H. The common persimmon (*Diospyros virginiana* L.): The history of an underutilized fruit tree (16th-19th centuries) // *Huntia*. 2005. Vol. 12, No 1. С. 71-90.

10. Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М. Итоги интродукции и перспективы хурмы виргинской в Восточном Предкавказье // Известия Нижневолжского АУК. 2021. № 4 (64). С. 118-125.

11. Омаров М.Д., Омарова З.М. Биологические особенности хурмы виргинской (*Diospyros virginiana* L.) // Новые технологии. 2020. Т. 16. № 5. С. 80-86.

12. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений: М.: Наука, 1967. 100 с.

13. Мазуренко М.Т., Хохряков А.Т. Структура и морфогенез кустарников: М.: Наука, 1977. 160 с.

14. Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г., Манаенков А.С. Перспективы развития культуры хурмы виргинской в связи с интродукцией в Восточном Предкавказье: научно-методическое пособие. Волгоград: ФНИЦ агроэкологии РАН, 2018. 11 с.

15. Корзун В.В., Лагошина А.Г. Особенности роста и развития хурмы в условиях предгорий Адыгеи // Вестник АГУ. 2018. № 4 (231). С. 188-191.

16. Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М. Продукционный потенциал хурмы виргинской в листосборных насаждениях // Научное обозрение. Биологические науки. 2018. № 2. С. 21-26.

4. Surkhaev G.A. Introduction of subtropical crops of unabi, persimmon and pomegranate in the Eastern Ciscaucasia in connection with the prospect of mobilizing their phytochemicals for food and medicinal purposes. articles between.confer / Surkhaev I.G., Starodubtseva G.P., Anya S.I. // Collection of materials of the international conference: Prospects of medicinal plants. Moscow-VILAR. 2018. P. 228-237.

5. Maisuradze Z.A., Takidze R.M., Maisuradze D.A., Dzivilidze Ts.A., Salukvadze M.M. Production of tea-like products from subtropical persimmons. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of food safety" Tbilisi-GSTU. 2008. P. 257-259.

6. Biryukova N.V., Pavlyuk E.D. Analysis of tea leaves (*Camellia sinensis*. L) assessment of prospects for use in medicine. // *Scientific heritage*. 2021. No. 67. P. 26-28.

7. Grebennikova O.A., Melnikov V.A. Ascorbic acid in fruits and leaves of some persimmon species in the conditions of the Southern coast of Crimea. // *GNBS Bulletin*. 2020. Issue 136. P. 116-128.

8. Akhund-Zadeh I.M. The results of the introduction and prospects for the development of persimmon in Azerbaijan. Baku-1957. P. 107.

9., C.H. Briand. The common persimmon (*Diospyros virginiana* L.): The history of an underutilized fruit tree (16th-19th centuries) // *Huntia*. 2005. Vol. 12, No. 1. P. 71-90. – ISSN0073-4071.

10. Surkhaev G.A., Surkhaeva G.M. The results of the introduction and prospects of the virgin persimmon in the Eastern Caucasus. // *Izvestiya Nizhnevolzhsky AUK*. 2021. No. 4(64). P. 118-125.

11. Omarov M.D., Omarova Z.M. Biological features of the Virginian persimmon (*Diospyros virginiana* L.) // *New technologies*. 2020. Vol. 16. No. 5. P. 80-86.

12. Molchanov A.A., Smirnov V.V. Methods of studying the growth of woody plants. M.: Nauka, 1967. 100 p.

13. Mazurenko M.T., Khokhryakov A.T. Structure and morphogenesis of shrubs. M.: Nauka, 1977. 160 p.

14. Surkhaev G.A., Surkhaev I.G., Manaenkov A.S. Prospects for the development of the culture of the Virgin persimmon in connection with the introduction in the Eastern Caucasus: a scientific and methodological guide. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2018. 11 p.

15. Korzun B.V., Lagoshina A.G. Features of persimmon growth and development in the conditions of the foothills of Adygea // *Bulletin of ASU*. 2018. No. 4 (231). p. 188-191.

16. Surkhaev G.A., Surkhaeva G.M. The production potential of virgin persimmon in leaf-collecting plantations // *Scientific review. Biological sciences*. 2018. No 2. P. 21-26.

Об авторах

Гасан Абдулкадирович Сурхаев, канд. с.-х. наук; ORCID: 0000-0002-6579-0918, gasan2255@mail.ru

Гульнара Магомедовна Сурхаева, науч. сотр.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4440-6371>, achikylak386890@mail.ru

Author information

Hasan A. Surkhaev, CSc (Agro) Leading Researcher, ORCID://orcid.org/0000-0002-6579-0918; gasan2255@mail.ru

Gulnara M. Surkhayeva, Researcher, ORCID: 0000-0003-4440-6371; achikylak356890@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М. провели совместно исследования и написание рукописи статьи, на которую имеют авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare that there is no conflict of interest

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 27.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 16.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 16.02.2024

Surkhaev G.A., Surkhayeva G.M. conducted joint research and wrote the manuscript of the article for which they have copyright and are responsible for plagiarism.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ

Общие требования к изданию

Принимается ранее не опубликованное автором произведение – научная статья, практическая или обзорная статья, научная рецензия и отзыв в следующие **рубрики журнала**:

2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки);

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки).

Все принятые статьи проходят процедуру обязательного рецензирования

Выбор рецензента осуществляет Редакционный совет

Структура статьи

Индекс УДК (слева).

ФИО автора(ов): инициалы, фамилия автора(ов).

Полное название представляемой организации (вуза), в которой они работают.

Название статьи без сокращений.

Аннотация статьи на русском и английском языках: рекомендуемый объем 150...250 слов (не более 2000 символов); необходимо осветить цель исследования, методы, результаты (желательно с приведением количественных данных), четко сформулировать выводы.

Ключевые слова на русском и английском языках: рекомендуемый объем от 5 до 10 слов или словосочетаний.

Автоматизированный перевод с помощью программных систем запрещается!

Текст статьи, с включенным иллюстративным материалом (таблицы, рисунки) **излагать структурировано**:

- введение;
- материал и методы;
- результаты и обсуждение;
- выводы (заключение);
- библиографический список.

Библиографический список должен быть составлен в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Количество источников не менее 10.

Сведения об авторах. Полностью указывается фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание автора(ов) и название организации, в которой они работают, телефон, электронный адрес, идентификаторы ORCID, SCOPUS.

Требования к оформлению статьи

- **Текстовый редактор** – Microsoft Word.
- **Шрифт** – Times New Roman (**Размер шрифта** – 14 пт).
- **Межстрочный интервал** – 1,5.
- **Ориентация** – книжная, без прерывания страниц, без переносов, желательно без постраничных сносок.
- **Оформление заголовка** – без выделения строчных букв прописными.
- **Набор формул.** Использовать редактор формул Math Type 5.x (и выше; в приоритете), либо Equation 3.0, шрифт Times New Roman, размер 11 пт, выравнивание по левому краю без абзацного отступа. Для удобства при верстке **длина формулы, набранной в редакторе формул, не должна превышать 8 см** (возможно разделение длинного уравнения на строки с дублированием символов на месте переноса).

Недопустимо вставлять уравнения в текст в виде растровых либо векторных изображений. Простые математические выражения, не содержащие дробей, корней, сложных индексов и т.д. (цифры и буквы (русские, латинские, греческие; знаки, имеющиеся в таблице символов), размещаются в тексте без использования специальных программ. Формулы должны создаваться одним объектом, а не состоять из частей. **Править стили отдельных букв** (приводить их к прямому начертанию) в уравнении, набранном в разрешённых программах, **неприемлемо**.

Нумеровать только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Суммарное число формул – не более 10. Экспликация к формулам набирается шрифтом Times New Roman, размер 14 пт, одним абзацем, но без абзацного отступа, выравнивание по ширине страницы.

• **Рисунки** выполнять на компьютере в виде отдельного файла: в растровых форматах TIFF, JPG с разрешением не менее 300 dpi; в векторных форматах CDR, DWG, EPS. Выполнение рисунка средствами Microsoft Word допускается для схем.

• **Фотографии** выполнять с разрешением не менее 300 dpi.

Обрезка рисунков и фотографий должна производиться до вставки в документ Microsoft Word.

При приеме статьи автор подписывает согласие на передачу Редакции периодического издания «Природообустройство» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) прав на издание и распространение статьи без ограничения срока, района распространения журнала и без выплаты вознаграждения.

Отрицательная рецензия, а также несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

Прием статей

По вопросам публикации статей обращаться по телефону: 8 (499) 976-36-67.

E-mail: prirodamgup@mail.ru

<https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/izdaniia/nauchnyi-zhurnal-prirodoobustroistvo>