

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

2' 2025

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

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



ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

2' 2025

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. ФилатоваАдрес редакции: 127434, Москва,
Прянишникова ул., 14, строение 7-7А
Тел.: 8 (499) 976-36-67
Email: prirodagrup@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 15.04.25 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, 2025**Главный научный редактор****Журавлева Л.А.**, д-р техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Заместитель научного редактора****Бенин Д.М.**, канд. техн. наук, доцент, член-кор.
Российской академии водохозяйственных наук
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Члены редакционного совета****Алексеев А.С.**, д-р. геогр. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет имени С.М. Кирова,
(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)**Балабанов В.И.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Безбородов Ю.Г.**, д-р. техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Брянская Ю.В.**, д-р. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (г. Москва, Российская Федерация)**Волосухин В.А.**, д-р. техн. наук, профессор
Академия безопасности гидротехнических сооружений
(г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Дубенок Н.Н.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Исмаилов Г.Х.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Кентбаев Е.Ж.**, д-р. с.-х. наук, профессор, Академик КазНАЕН
НАО «Казахский национальный исследовательский университет»
(г. Алматы, Республика Казахстан)**Кирейчева Л.В.**, д-р. техн. наук, профессор
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**Косиченко Ю.М.**, д. техн. наук, профессор
ФГБНУ РосНИИПМ (г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Лисичкин С.Е.**, д-р. техн. наук, с.н.с.
Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (Москва, Российская Федерация)**Лихацевич А.П.**, д-р. техн. наук, член-кор. Академии Наук Белоруссии
Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»
(г. Минск, Республика Беларусь)**Матвеев С.М.**, д-р. биол. наук, профессор
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова
(г. Воронеж, Российская Федерация)**Мирзаев Б.С.**, д-р техн. наук, профессор
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(Ташкент, Узбекистан)**Михеев П.А.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Ольгаренко Г.В.**, д-р. с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения
и сельхозводоснабжения Радуга (г. Коломна, Российская Федерация)**Попов И.И.**, PhD, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Пчелкин В.В.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Раткович Л.Д.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Рубин О.Д.**, д-р. техн. наук, с.н.с.
АО «Институт Гидропроект» (Москва, Российская Федерация)**Ханов Н.В.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Хлюстов В.К.**, д-р. с.-х. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Худаев И.Ж.**, канд. техн. наук., доцент
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(г. Ташкент, Узбекистан)**Шевченко В.А.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**ПОДПИСКА:**электронный каталог «Пресса России» <https://www.ppressa-rf.ru/cat/1/edition/t80746/>**Цена подписная**



ISSN 1997-6011

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

2' 2025

Founder and Publisher:

**Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy**

Address of Founder and Publisher:
49, Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian Federation

The 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, Pryanishnikov str., 14,
Moscow, 127434, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 976-36-67
Email: prirodamgup@mail.ru
Website: environment.elpub.ru

Printed in typography
OOO "Offset Print"
127550, Moscow,
Dmitrovskoe shosse, 39, building 1
Tel.: +7 (499) 976-24-85,
+7 (916) 503-02-43

Signed for print 15.04.25
Format 60 84/8, Circulation 500

When using the materials of the journal
in any form reference to the journal is obligatory.

© Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2025

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 (Novocherkassk, 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 (Novocherkassk, 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

Д.А. Рогачев, Л.В. Кирейчева, С.Б. Адьяев, А.Г. Блохин Интеллектуальная подсистема технической эксплуатации АСУ «Водопользование оросительной системы»	6
С.Э. Бадмаева Влияние осенних влагозарядковых поливов на весенние влагозапасы	15
Л.А. Журавлёва Оценка равномерности полива дефлекторными дождевателями Nelson Irrigation	20
А.И. Рязанцев, В.С. Травкин, Е.Ю. Евсеев, О.В. Ануфриева Совершенствование планового дождевателя при поливе рассады овощных культур, выращиваемых кассетным способом в закрытом грунте	24
С.А. Манжина Влияние минерализации поверхностных и подземных вод Ростовской области на почвы, расположенные в зоне орошаемого земледелия	33
М.С. Зверьков, С.С. Смелова Прогноз урожайности озимой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) по значению вегетационного индекса NDVI	43
Т.Л. Горбунова, Н.К. Гудкова, Н.И. Рубанова Использование мелиорантов на основе тонкодисперсной фракции отходов известняковых карьеров и микроводоросли <i>Chlorella vulgaris</i> в замкнутом цикле обращения с отходами первичного сектора экономики	50
Д.И. Кацко Вероятностное управление оползневым риском с использованием байесовских сетей доверия	60
В.И. Сметанин Оценка негативного воздействия отработанных несанкционированных стихийных свалок и «полигонов» ТКО на окружающую среду	68

Гидротехническое строительство

К.С. Семёнова, О.Н. Черных Мониторинг состояния берега водных объектов с использованием данных дистанционного зондирования и организация противоэрозионного берегоукрепления	77
П.М. Буренков Фильтрационные расчеты грунтовой плотины Юмагузинского гидроузла	87

Гидравлика и инженерная гидрология

Т.В. Пилипенко, Н.П. Карпенко, Д.Е. Куприянов, М.А. Ширяева Моделирование гидравлических потоков на участке проектируемого месторождения песчано-гравийных материалов в русле реки Томь	97
Б.И. Корженевский, Н.В. Коломийцев, Г.Ю. Толкачев Энергетические характеристики для оценки геоэкологической безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений	105
Н.В. Кондратьева, З.М. Кереева, А.Р. Акаев, И.Ж. Шидугов Маршрутное обследование селевых проявлений в Мамисонском ущелье	112

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

А.А. Вергунова, О.Б. Сокольская, П.Н. Проездов, А.В. Розанов Оценка рекреационного эффекта на городских территориях с водными источниками и видами рода <i>SALIX</i>	119
Т.В. Неженцева Особенности роста и развития сеянцев древесных интродуцентов рода <i>Pinus</i> L. в Ставропольском ботаническом саду ...	129
Н.Б. Денисова, А.В. Лебедев, С.Н. Волков, Д.А. Белов, К.А. Козлов Санитарное и лесопатологическое состояние сосны пицундской (<i>Pinus brutia</i> var. <i>pityusa</i> (Steven) Silba) в Джанхотском бору	137
Р.А. Осипенко, С.В. Залесов, В.С. Котова, С.А. Медведев, И.В. Предеина Депонирование углерода при лесохозяйственном направлении рекультивации выработанных карьеров глины	145

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

D.A. Rogachev, L.V. Kireicheva, S.B. Adyaev, A.G. Blokhin

Intelligent subsystem of technical operation of the automated control system "Water use of the irrigation system" 7

S.E. Badmaeva

The effect of autumn water-charging irrigation on spring moisture reserves 15

L.A. Zhuravleva

Assessment of the uniformity of irrigation by nelson irrigation deflector sprinklers..... 20

A.I. Ryazantsev, V.S. Travkin, E.Yu. Evseev, O.V. Anufrieva

Improvement of the hose sprinkler when watering seedlings of vegetable crops grown by the cassette method in closed ground 24

S.A. Manzhina

The effect of mineralization of surface and groundwater in the Rostov region on soils located in the zone of irrigated agriculture 33

M.S. Zverkov, S.S. Smelova

Forecast of winter wheat yield (*Triticum aestivum* L.) by the value of the NDVI vegetation index 43

T.L. Gorbunova, N.K. Gudkova, N.I. Rubanova

The use of ameliorants based on the finely dispersed fraction of waste from limestone quarries and microalgae *Chlorella vulgaris* in a closed cycle of waste management in the primary sector of the economy 50

D.I. Katsko

Probabilistic landslide risk management using bayesian belief networks..... 60

V.I. Smetanin

Assessment of the negative impact of spent unauthorized, spontaneous landfills and MSW "landfills" on the environment 68

Hydraulic engineering construction

K.S. Semenova, O.N. Chernykh

Monitoring of the state of the coast of water bodies using remote sensing data and organization of anti-erosion coastal protection 77

P.M. Burenkov

Filtration calculations of the earth dam of the Yumaguzinsky hydroelectric complex..... 87

Hydraulics and engineering hydrology

T.V. Pilipenko, N.P. Karpenko, D.E. Kupriyanov, M.A. Shiryaeva

Hydraulic flow modeling of a proposed sand and gravel mining site in the Tom river..... 97

B.I. Korzhenevskiy, N.V. Kolomiytsev, G.Yu. Tolkachev

Energy characteristics for assessing geocological safety during operation of hydraulic structures 105

N.V. Kondratyeva, Z.M. Kerefova, A.R. Akaev, I.Zh. Shidugov

Route survey of mudflow manifestations in the Mamison Gorge..... 112

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

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

Assessment of the recreational effect in urban areas with water sources and species of the genus *SALIX* 119

T.V. Nezhentseva

Features of growth and development of seedlings of woody introducents of the genus *Pinus* L. in the Stavropol botanical garden..... 129

N.B. Denisova, A.V. Lebedev, S.N. Volkov, D.A. Belov, K.A. Kozlov

Sanitary and forest pathological state of pitsundskaya pine (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) in Dzhanikhot pine forest 137

R.A. Osipenko, S.V. Zalesov, V.S. Kotova, S.A. Medvedev, I.V. Predeina

Carbon sequestration in the forestry direction of reclamation of depleted clay quarries..... 145

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-6-14>

УДК 631.67:004.8



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСУ «ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ»

Д.А. Рогачев^{1✉}, Л.В. Кирейчева¹, С.Б. Адьяев², А.Г. Блохин³

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»); 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, стр. 2, Россия

² Министерство агропромышленного комплекса и продовольственной политики Херсонской области; 273003, г. Херсон, ул. Филатова, 29, Россия

³ АО «Ситроникс»; 109316, г. Москва, Волгоградский проспект, 32, к. 31, Россия

Аннотация. Проведен анализ современного состояния исследований по технической эксплуатации оросительных систем и внедрению информационных систем в сфере управления мелиорацией. Выявлена целесообразность использования оптимизационного моделирования распределения ограниченных финансовых ресурсов на ремонтно-восстановительные работы с помощью многокритериальной нелинейной функции на базе генетических алгоритмов. В качестве критериев оптимизации при выборе первоочередных объектов для осуществления ремонтно-восстановительных работ использованы площадь орошения, снижение потерь воды, финансовый результат водохозяйственной организации. Выполнена разработка прототипа автоматизированной системы управления «Водопользование оросительной системы». Проанализированы цели и задачи системы, определена ее функциональная структура. Охарактеризованы информационные потоки производственной организации на основании данных обследования процессов технической эксплуатации Красногвардейской оросительной системы (Республика Крым), подведомственной Государственному бюджетному учреждению Республики Крым «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации». Осуществлена программная реализация подсистемы «Техническая эксплуатация» и представлены результаты реализации контрольного примера. Обосновано использование в качестве технологической платформы разработки АСУ отечественного программного продукта «1С-Предприятие». Описана функциональная структура прикладного решения: состав справочников, данных оперативного учета, отчетов и обработки данных. Приведены описание интерфейса прикладного решения, примеры ввода данных и выходные формы. Обосновано использование прикладного решения 1С «GIS Управление пространственными данными» в качестве надстройки для решения задачи визуализации данных, связанных с планированием мероприятий технической эксплуатации, в том числе для анализа данных дистанционного зондирования в задачах контроля за состоянием объектов оросительных систем.

Ключевые слова: мелиорация, техническая эксплуатация, автоматизированные системы управления, водопользование, системы управления ресурсами, генетические алгоритмы, искусственный интеллект

Формат цитирования: Рогачев Д.А., Кирейчева Л.В., Адьяев С.Б., Блохин А.Г. Интеллектуальная подсистема технической эксплуатации АСУ «Водопользование оросительной системы» // Природообустройство. 2025. № 2. С. 6-14. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-6-14>

Scientific article

INTELLIGENT SUBSYSTEM OF TECHNICAL OPERATION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM “WATER USE OF THE IRRIGATION SYSTEM”

D.A. Rogachev^{1✉}, L.V. Kireicheva¹, S.B. Adyaev², A.G. Blokhin³

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov” (A.N. Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGiM), 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, 127434, Russia

² Ministry of Agriculture and Food Policy of the Kherson region, Filatov str., 29, 273003, Kherson, Russia

³ JSC “Sitronics”, 109316, Moscow, Volgogradsky Prospekt, 32k31, Russia

Abstract. The analysis of the current state of research on the technical operation of irrigation systems and the introduction of information systems in the field of land reclamation management is carried out. The expediency of using optimization modelling of the allocation of limited financial resources for repair and restoration work using a multi-criteria nonlinear function based on genetic algorithms has been revealed. The following optimization criteria were used when choosing priority facilities for carrying out repair and restoration work: irrigation area, reduction of water losses, financial result of the water management organization. A prototype of the automated control system “Irrigation system water use” has been developed. The goals and objectives of the system are analyzed, and its functional structure is determined. The information flows of the production organization are characterized on the basis of data from a survey of the technical operation of the Krasnogvardeyskaya irrigation system (Republic of Crimea), subordinate to the State Budgetary Institution of the Republic of Crimea “Crimean Department of Water Resources and Land Reclamation”. The software implementation of the subsystem “Technical operation” is carried out and the results of the implementation of the control example are presented. The use of the domestic software product 1C-Enterprise as a technological platform for the development of automated control systems is justified. The functional structure of the application solution is described: the composition of reference books, operational accounting data, reports and data processing. The application solution interface is described, as well as data entry examples and output forms. The use of the 1C GIS Spatial Data Management software solution as an add-on is justified to solve the problem of data visualization related to the planning of technical operation measures, including for the analysis of remote sensing data in the tasks of monitoring the state of irrigation system facilities.

Keywords: Land reclamation, technical operation, automated management systems, water use, resource management systems, genetic algorithms, artificial intelligence

Format of citation: Rogachev D.A., Kireicheva L.V., Adyaev S.B., Blokhin A.G. Intelligent subsystem of technical operation of the automated control system “Water use of the irrigation system” // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 6-14. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-6-14>

Введение. В условиях глобального изменения климата и повышающейся антропогенной нагрузки эффективность использования водных ресурсов в сфере мелиорации, как одной из наиболее водоемких секторов АПК, становится крайне не актуальной [1-3]. По мнению ряда экспертов мелиоративной отрасли, внедрение информационных систем управления оросительными системами позволит повысить эффективность эксплуатации оросительных систем, и прежде всего – эффективность водопользования [4, 5].

Использование методов искусственного интеллекта, машинного обучения, а также современных технологий дистанционного зондирования (в том числе с использованием БПЛА) в информационных системах может стать ведущим фактором повышения качества управленческих решений, обеспечивающих

рациональное природопользование, и агропроизводства.

В рамках плана НИР специалисты ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им А.Н. Костякова» выполняют разработку систем управления водопользованием, в том числе с применением методов искусственного интеллекта. Особое внимание уделяется решению задач распределения ограниченных водных ресурсов в условиях их дефицита, а также ограниченного финансирования на ремонтно-восстановительные работы. В статье представлены результаты проектирования и разработки подсистемы «Техническая эксплуатация» АСУ «Водопользование ОС» с акцентированием процесса ее технологической реализации. Материалы методического обеспечения подсистемы характеризуются в работе [6].

Материалы и методы исследований. АСУ «Водопользование ОС» обеспечивает повышение качества управления:

– технологическими процессами планирования оптимального водораспределения на межхозяйственных оросительных системах, имеющего решающее значение в условиях маловодья источников орошения, аварий и других форс-мажорных обстоятельств;

– техническим состоянием и ремонтно-восстановительными работами на ГТС по результатам плановых обследований, обеспечивающих возможность реализации управляющих воздействий системной водоподачи;

– финансово-экономическими процессами водохозяйственной организации, необходимыми для сохранения и расширения требующегося преимущества предприятия при усиливающейся

конкуренции на рынке сельскохозяйственной продукции.

С учетом целей и задач эксплуатационной службы ОС была спроектирована функциональная структура АСУ «Водопользование ОС». Фрагмент функциональной схемы представлен на рисунке 1.

Процессы, обеспечивающие работу интеллектуальной автоматизированной системы «Водопользование ОС», формируются в составе блоков:

– ввода данных из внешних или внутренних источников;

– обработки входных данных и представления их в удобном виде;

– вывода данных для предоставления специалисту внутри организации или передачи в другую систему;

– обратной связи – данных, переработанных персоналом, для коррекции входных данных.



Рис. 1. Фрагмент функционального прототипа АСУ Водопользование ОС»

Fig. 1. Fragment of the functional prototype of the ACS "IS water use"

Разработка технологии управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах базируется на оптимизации решений, принимающихся в условиях неполноты и неопределенности сведений и информации, а также требующих обработки больших массивов данных.

Реализация системного водораспределения на орошение в условиях дисбаланса спроса и предложения поливной воды на основе многокритериальной оптимизации методом эволюционно-генетического программирования повысит результативность управленческих решений за счет роста информационной и технологической поддержки.

В процессе экономико-математического моделирования водораспределения решается задача оценки технического состояния и работоспособности сооружений ОС, для реализации которого привлекаются модели ГИС визуализации и искусственного интеллекта. Распределение ограниченных финансовых ресурсов на ремонтно-восстановительные работы осуществляется на модели многокритериальной оптимизации, включающей в себя минимизацию потерь поливной воды, при увеличении площади орошаемых земель и повышении финансовых показателей водохозяйственной организации.

Функциональные возможности системы обеспечат построение трех уровней планирования:

- перспективного (стратегического) – для обоснования нового строительства, реконструкции и планов капитального ремонта водопроводящих гидротехнических сооружений (ГТС);
- годового (тактического) – для согласования мероприятий технической эксплуатации с планами системного водопользования;
- текущего (оперативного) – для проведения аварийных ремонтов оборудования и срочного перераспределения воды между хозяйствами-потребителями в текущем периоде (декаде, месяце).

Включение в состав АСУ «Водопользование ОС» модели «Цифровой двойник» предприятия реализует требование повышения качества управления, гарантирующего конкурентоспособность, и как следствие – выживаемость водохозяйственной организации.

Тестирование программного обеспечения выполнялось по результатам исследования документооборота и информационных потоков, связанных с управлением процессами водопользования службы эксплуатации Красногвардейской оросительной системы Республики Крым.

АСУ позволяет на основании введенной информации о процессах водопользования решать задачи распределения водных и финансовых ресурсов в условиях их дефицита с помощью методов эволюционно-генетической оптимизации распределения с использованием нелинейных многокритериальных функций [6, 7].

Результаты и их обсуждение. В качестве технологической платформы разрабатываемой автоматизированной системы управления «Водопользование» был выбран отечественный программный продукт «1С: Предприятие 8». Использование данной платформы позволило существенно снизить трудозатраты на разработку интерфейсов и вспомогательных элементов и сфокусироваться на прикладном решении производственных задач [8]. Выбор платформы позволил также использовать функциональные возможности большого числа отраслевых решений [8].

Для визуализации пространственных данных применялся программный продукт 1С «GIS Управление пространственными данными», который обеспечил возможность их отображения на картах и схемах, а также интеграцию с электронными публичными сервисами, в том числе с данными Росреестра и спутниковыми снимками. Это позволяет в режиме реального времени использовать различные картографические подложки и специализированные таблицы.

Меню характеризуемого в настоящей работе прикладного решения: подсистема «Техническая эксплуатация» АСУ (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024667866) – представлено на рисунке 2.

Функциональная структура подсистемы:

- обеспечивает ведение справочной информации по техническим объектам оросительной системы, хозяйствам-потребителям, сельскохозяйственным культурам;
- позволяет получить обобщенные отчеты по объектам, потребителям и планируемым мероприятиям технической эксплуатации;
- реализует возможность распределения финансирования на ремонтно-восстановительные работы в условиях его ограничения с помощью нелинейной многокритериальной функции на базе генетического программирования.

Использование встроенной ГИС позволяет осуществить ведение картографической информации с привязкой к атрибутивным данным объектов оросительных систем, мероприятиям технической эксплуатации и ремонтно-восстановительным работам на системе.

Таблица 1. Функциональные подсистемы АСУ «Водопользование ОС»
Table 1. Functional subsystems of the automated control system "IS water use"

№ п.п	Подсистема <i>Subsystem</i>	Решаемые задачи <i>Tasks to be solved</i>
1	«Техническая эксплуатация» "Technical operation"	Обеспечивает учет информации об объектах технической эксплуатации, планирование ремонтно-восстановительных работ, распределение денежных средств в том числе в условиях ограничения финансирования <i>Provides accounting for information on technical operation facilities, planning of repair and restoration work, distribution of monetary funds, including in conditions of limited financing</i>
2	«Водораспределение» "Water distribution"	Позволяет вести учет сведений связанных со сбором заявок от потребителей, планированием водоподдачи, распределением ограниченных водных ресурсов в условиях дефицита <i>It allows you to keep records of information related to the collection of applications from consumers, planning of water supply, distribution of limited water resources in conditions of shortage</i>
3	«Прогнозирование» "Forecasting"	С использованием методов искусственного интеллекта обеспечивает прогнозирование состояния оросительной системы, урожайности и прочих вспомогательных параметров <i>Using artificial intelligence methods, it provides forecasting of the state of the irrigation system, yields and other auxiliary parameters</i>
4	«ГИС» GIS	Обеспечивает визуализацию и анализ пространственных данных, в том числе с использованием методов искусственного интеллекта. Используются данные временных рядов урожайности и метеоданных из базы данных системы <i>Provides visualization and analysis of spatial data, including the use of artificial intelligence methods. Yield time series data and meteorological data from the system database are used</i>
5	«Нормативно-справочная» "Reference information"	Обеспечивает хранение нормативно-справочной информации необходимой для работы прочих функциональных подсистем <i>Provides storage of reference information necessary for the operation of other functional subsystems</i>
6	«Администрирование» "Administration"	Сервисная подсистема, обеспечивающая авторизацию, управление доступом, регламентные работы по обслуживанию СУБД <i>A service subsystem that provides authorization, access control, routine maintenance of the DBMS</i>

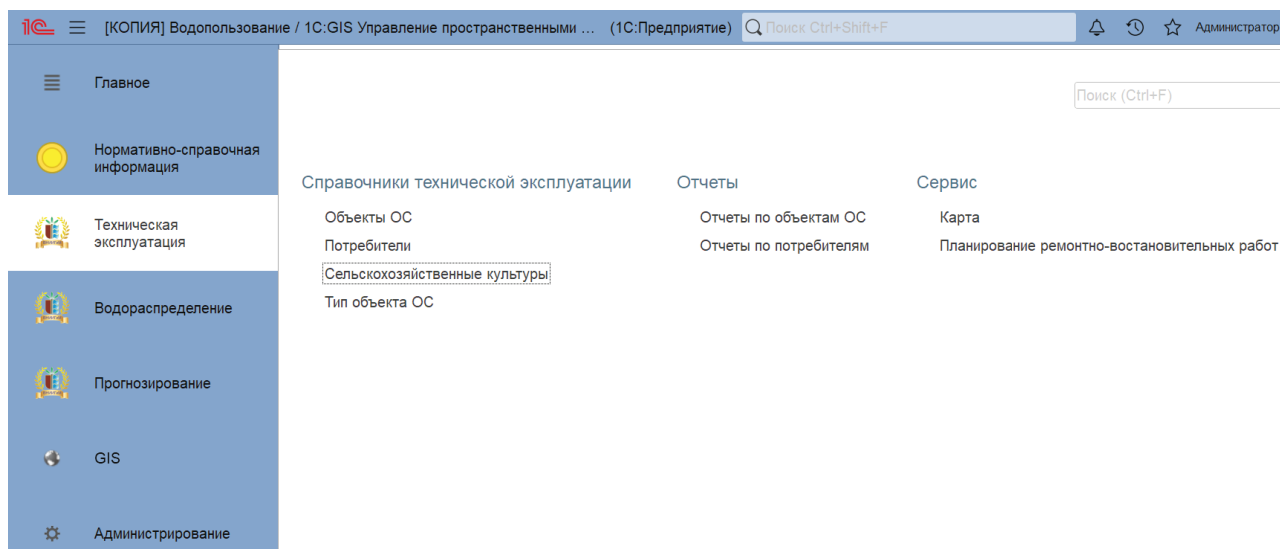


Рис. 2. Меню подсистемы «Техническая эксплуатация» АСУ «Водопользование ОС»

Fig. 2. Menu of the subsystem "Technical operation" of the "ACS "IS Water use"

Справочная информация. Подсистема реализует формирование иерархического справочника объектов технической эксплуатации («Объекты ОС») и хозяйств водопотребителей («Потребители»), устанавливает связи между ними, а также осуществляет привязку объектов к географическим координатам (рис. 3).

В справочнике «Потребители» хранятся сведения об орошаемых культурах, площадях, урожайности, оросительных нормах, удельной стоимости подачи воды и удельной стоимости водоподачи, в справочнике «Объекты ОС» – сведения о наименовании сооружения, месте нахождения на системе, форме собственности, технических характеристиках, балансовых показателях, размере износа, об истории ремонтов и мероприятиях технической эксплуатации. В справочнике «Объекты ОС» могут быть заданы подчиненные объекты, работа которых невозможна без родительского элемента.

Решение позволяет применять справочник «Сельскохозяйственные культуры», содержащий информацию об оросительной норме, урожайности, закупочной стоимости, затратах на сельскохозяйственное производство и прочих данных, необходимых для решения производственных задач. Сведения справочника автоматически используются для моделирования альтернативных сценариев распределения средств

на ремонтно-восстановительные работы в части оценки их эффективности.

Отчеты, результаты обработки данных. По результатам справочной информации прикладное решение АСУ формирует обработанную, обобщенную и сгруппированную информацию в виде отчетов и выходных форм в соответствии с предпочтениями пользователей.

Пример выходного документа по решению оптимизационной задачи планирования ремонтно-восстановительных работ приведен на рисунке 4.

Данная обработка позволяет с помощью нелинейной многокритериальной функции осуществить поиск оптимального решения по распределению ограниченных средств, используя генетический алгоритм.

Визуализация информации на схемах и картах с использованием ГИС. Использование встроенной ГИС (настройка 1С «GIS Управление пространственными данными») позволяет визуализировать информацию о техническом состоянии объектов ОС на картах и схемах (рис. 5), в том числе используя электронные сервисы федеральных государственных информационных систем за счет интеграций с электронными сервисами Росреестра [9].

В рамках подсистемы возможны ввод кадастровых данных земельных участков

N	Потребитель	Договор
1	ООО «Борис — Агро»	324

N	Культура	Площадь (га)	Урожайность (ц/га)	Оросительная норма (мм)
1	Озимая рожь	272,30	27,72	
2	Кукуруза на зерно	154,70	83,55	
3	Подсолнечник	208,10	25,40	
4	Соя	17,70	29,49	

Рис. 3. Справочник объектов ОС. Сведения о потребителях и площадях орошения

Fig. 3. Reference directory of IS objects. Information on consumers and irrigation areas

Планирование ремонтно-восстановительных работ

Группа объектов ОС: Насосные станции

Объем финансирования (тыс. руб.): 10 000 000

Название объекта	Финансирование ремонта	Площадь орошения	Сокращение потерь воды	Финансовый результат
НС №1	2 025,00	652,80	783,36	522,24
НС №2	6 983,00	1 396,60	1 340,74	223,46
НС №3	756,50	151,30	90,78	605,20
НС №4	775,00	155,00	124,00	62,00
НС №5	1 750,00	350,00	182,00	980,00
НС №6	175,00	35,00	29,40	21,00
НС №7	217,50	43,50	24,36	34,80

А)

С:\Проекты\ДВ\04_2024_Разработка ГИС - Крым\Результаты расчета\Результат_расчета_230524_1310.xlsx *

Вид ограничения	Переменные оптимизационной модели							Ограничения			Сумма
	НС №1	НС №2	НС №3	НС №4	НС №5	НС №6	НС №7	Расчет	Форма	Задано	
1	1	1	0	0	0	0	1	-	Бинарная	-	
4 Финансирование ремонта, тыс. руб	2025,00	6983,00	756,50	775,00	1750,00	175,00	217,50	9982,00	<=	10000,00	
5 Площадь орошения, га	652,80	1396,60	151,30	155,00	350,00	35,00	43,50	2244,20	>=	0,00	2784,20
6 Сокращение потерь воды, тыс. м3	783,36	1340,74	90,78	124,00	182,00	29,40	24,36	2239,24	>=	0,00	2574,64
7 Финансовый результат в/х организации, тыс. руб	522,24	223,46	605,20	62,00	980,00	21,00	34,80	1385,70	>=	0,00	2448,70
8 Интегральная функция	0,751998276	1,11362138	0,336753209	0,129152918	0,596611212	0,032565987	0,039297017	2,24	>=	max	оптимиз. цф

Б)

Рис. 4. Обработка данных «Планирование ремонтно-восстановительных работ»:

А) параметры для оптимизации средств на ремонтные работы;

Б) результат оптимизации с использованием генетического алгоритма

Fig. 4. Data processing “Planning of repair and restoration” works

A) Parameters for optimization of funds for repair work; B) Result of optimization using a genetic algorithm

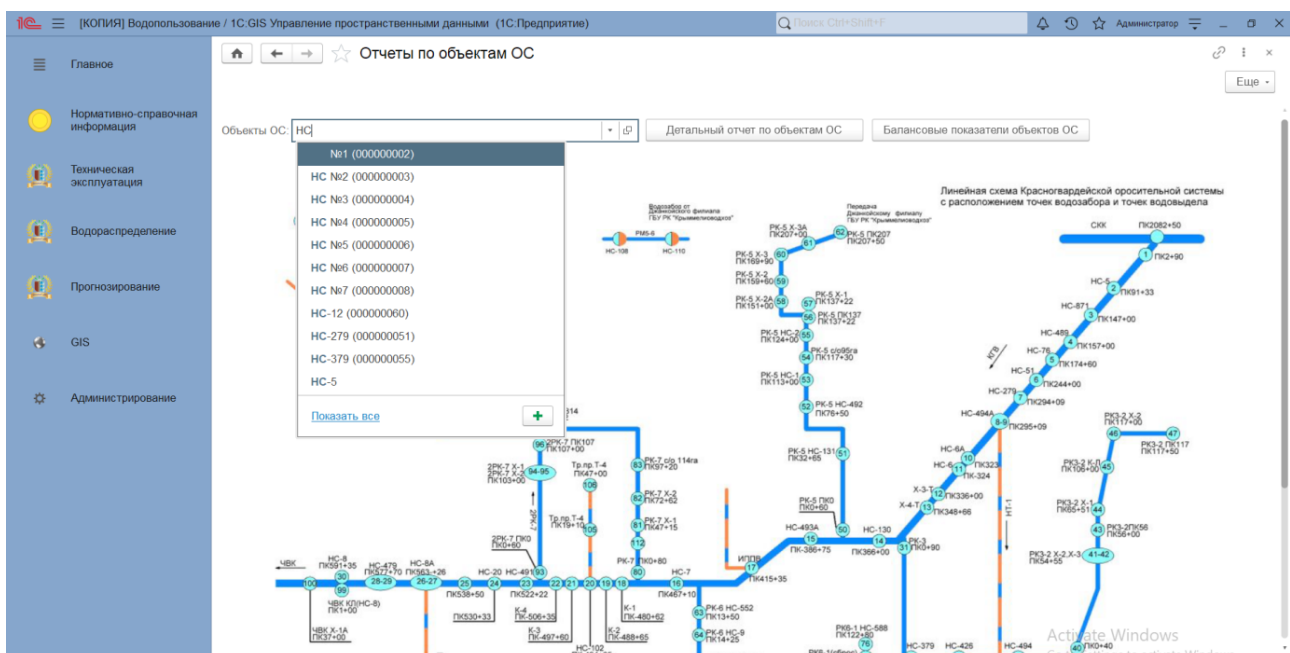


Рис. 5. Использование линейной схемы «Объекты ОС»

для визуализации данных о системе на примере насосных станций

Fig. 5. Using the linear diagram of “IS Objects” to visualize data about the system on the example of pumping stations

и интеграция с электронными сервисами Росреестра [9], проводится работа по интеграции с Федеральным агентством водных ресурсов и другим внешними системами государственных учреждений. На рисунке 6 представлен пример оперативного получения данных кадастрового деления Росреестра с привязкой к картографической информации, которая используется для

планирования мероприятий технической эксплуатации.

Разработанная система обеспечивает повышение уровня поддержки управленческих решений в сфере технической эксплуатации оросительных систем в отличие от существующих аналогов, используемых в задачах АПК России [10, 11].

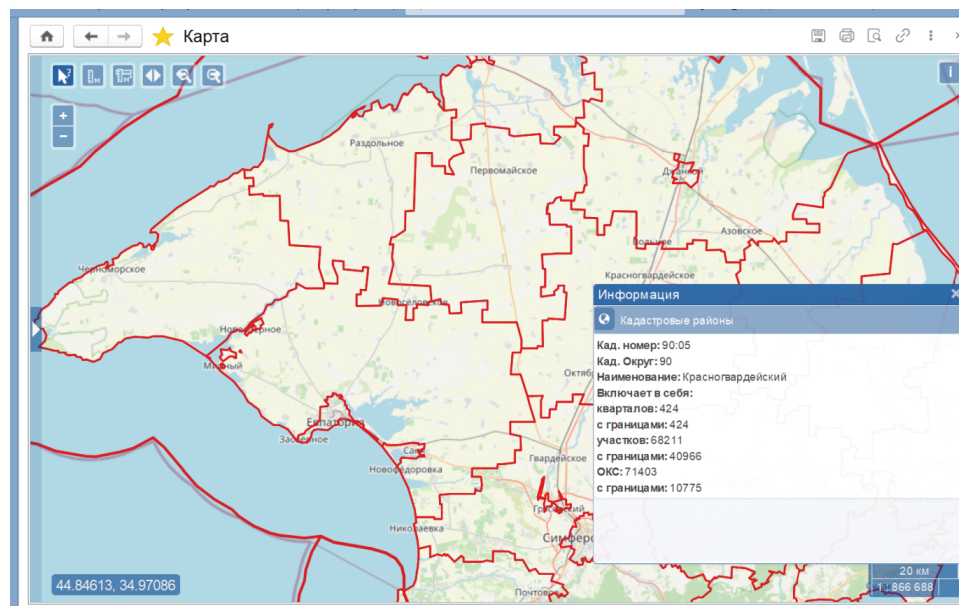


Рис. 6. Пример использования данных Росреестра в АСУ «Водопользование ОС» на Красногвардейской оросительной системе (Республика Крым)

Fig. 6. An example of using Rosreestr data in the ACS "IS Water use" on the Krasnogvardeyskaya irrigation system (Republic of Crimea)

Выводы

Разработка и внедрение в практику мелиоративного водохозяйственного комплекса автоматизированных систем управления техническим состоянием оросительных систем, созданных на базе инновационных продуктов

с использованием методов искусственного интеллекта, позволят повысить качество управленческих решений в области надежности и безопасности гидротехнических сооружений, и как следствие – эффективность использования поливной воды на орошении.

Список использованных источников

1. Юрченко И.Ф. Правила планирования мероприятий технической эксплуатации оросительных систем / И.Ф. Юрченко, Ю.Г. Злодеев, Г.Х. Ялалова // Научно-технические достижения и разработки ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» (2016-2021 гг.): Сборник научных трудов. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2021. С. 14-16. EDN ZAYXLG.
2. Жезмер В.Б. Алгоритм анализа гидромелиоративной системы с целью выявления причин снижения эксплуатационной надежности и производительности / В.Б. Жезмер, С.Б. Адьяев, Р.М. Шабанов // Природообустройство. 2023. № 1. С. 54-61. DOI 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61. EDN NQIEPM.
3. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н.Н. Погодин, А.С. Анженков, В.А. Болбышко, В.П. Закржевский. Минск: Беларуская навука, 2022. 154 с. ISBN 978-985-08-2898-9. EDN IBZKEN.

References

1. Yurchenko I.F. Rules of planning measures of the technical operation of irrigation systems / I.F. Yurchenko I.F., Zlodeev Yu., G.Kh. Yalalova // Scientific and technical achievements and developments of FGBNU VNIIGiM (2016-2021): Collection of Scientific Works. Moscow: A.N. Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow. 2021, P. 14-16. EDN ZAYXLG.
2. Zhezmer V.B. Algorithm for the analysis of the hydro-drainage system in order to identify the causes of reducing operational reliability and productivity / V.B. Zhezmer, S.B. Adjyaev, R.M. Shabanov. Prirodoobustrojstvo. 2023. № 1. P. 54-61. DOI 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61. EDN NQIEPM.
3. Technical operation of the closed land reclamation system / N.N. Pogodin, A.S. Anzhenkov, V.A. Bolbyshko, V.P. Zakrzhevsky. Minsk: Belorussian science, 2022. 154 p. ISBN 978-985-08-2898-9. EDN IBZKEN.

4. Ольгаренко В.И. Система интегральных показателей оценки эффективности водопользования / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, С.Д. Дезюра [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 1(33). С. 139-152. DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-139-152. EDN YYTEHR.

5. Щедрин В.Н. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация» / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев, В.В. Слабунов [и др.] // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 1. С. 53-64. DOI 10.14357/20718632200106. EDN FAWTUT.

6. Рогачев Д.А. Оптимизация мероприятий технической эксплуатации оросительных систем методами искусственного интеллекта // Природообустройство. 2024. №4. С. 12-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-12-19>

7. Рогачев Д.А. Управление системным водораспределением на основе экономико-математического моделирования и методов искусственного интеллекта / Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 87-106. DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. EDN YPTZVK.

8. Обзор системы «1С: Предприятие» [электронный ресурс] <https://v8.1c.ru/tekhnologii/overview/> (режим доступа 25.06.24).

9. Росреестр РФ. Электронные услуги и сервисы [электронный ресурс] <https://rosreestr.gov.ru/eservices/> (дата обращения 25.06.24).

10. Исаева С.Д. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом: монография / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова, А.В. Матвеев и др. М.: ФГБНУ «ФНИЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. 204 с.

11. Альт В.В. Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий / В.В. Альт, С.П. Исакова // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 3. С. 12-19. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19. EDN DOXFUN.

4. Olgarenko V.I. System of integral indicators of the efficiency assessment of water use / V.I. Olgarenko, I.V. Olgarenko, S.D. Dezyura [and others] // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2019. № 1(33). P. 139-152. DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-139-152. EDN YYTEHR.

5. Shchedrin V.N. Approaches to the formation of the "Digital land reclamation" / V.N. Shchedrin, S.M. Vasiljev, V.V. Slabunov [and others] // Information technologies and computing systems. 2020. № 1. P. 53-64. DOI 10.14357/20718632200106. EDN FAWTUT.

6. Rogachev D.A. Optimization of the measures of the technical operation of irrigation systems by the methods of artificial intellect // Prirodoobustrojstvo. 2024. N4. P. 12-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-12-19>

7. Rogachev D.A. Management of system water distribution based on economic and mathematical modeling and methods of artificial intelligence / D.A. Rogachev, I.F. Yurchenko, A.F. Rogachev // Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. V. 13, No 3. P. 87-106. DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. EDN YPTZVK.

8. Review of the system 1S: Enterprise [electronic resource] <https://v8.1c.ru/tekhnologii/overview/> (access mode 25.06.24).

9. Rosreestr RF. Electronic services [Electronic resource] <https://rosreestr.gov.ru/eservices/> (accessed 25.06.24).

10. Isaeva S.D. Intellectual system of supporting the decision adoption to manage a land reclamation – water economic complex: monograph / S.D. Isaeva, E.B. Dedova, A.V. Matveev and others. M.: FGBNU FNTS VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2024. 204 p.

11. Alt V.V. Planning of the production of crop production using digital technologies / V.V. Alt, S.P. Isakova // Agricultural machines and technologies. 2022. V. 16, № 3. P. 12-19. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19. EDN DOXFUN.

Об авторах

Дмитрий Алексеевич Рогачев, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела Природоохранных и информационных технологий; ORCID: 0009-0003-4014-4770, rogachev.soft@gmail.com

Людмила Владимировна Кирейчева, д-р техн. наук, профессор, руководитель научного направления Федерального научного центра гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова; ORCID: 0000-0002-7114-2706; kireychevalw@mail.ru

Санал Борисович Адьяев канд. с.-х. наук, Министр агропромышленного комплекса и продовольственной политики Херсонской области, a.s.b08@mail.ru

Александр Геннадьевич Блохин, Заместитель директора департамента безопасности-руководитель по ИБ, АО «Ситроникс»: kep_al@mail.ru

About the authors

Lyudmila V. Kireicheva, DSc (Eng), professor, head of the scientific direction of the Federal scientific center of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov; ORCID: 0000-0002-7114-2706; kireychevalw@mail.ru

Dmitry A. Rogachev, CSc (Eng), leading researcher of the department of natural resources and information technology; ORCID: 0009-0003-4014-4770, Rogachev.soft@gmail.com

Sanal B. Adyaev, CSc (Agro), Minister of agro-industrial complex and food policy of the Kherson region, a.s.b08@mail.ru

Alexander G. Blokhin, Deputy director of the department of security – head on IS, JSC "Sitronics": kep_al@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Рогачев Д.А., Кирейчева Л.В., Адьяев С.Б., Блохин А.Г. 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

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 / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 29.12.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 10.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 10.02.2025

Rogachev D.A., Kireicheva L.V., Adyaev S.B., Blokhin A.G. carried out practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. They have a copyright to the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-15-19>

УДК 631.674



ВЛИЯНИЕ ОСЕННИХ ВЛАГОЗАРЯДКОВЫХ ПОЛИВОВ НА ВЕСЕННИЕ ВЛАГОЗАПАСЫ

С.Э. Бадмаева

Красноярский государственный аграрный университет; 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, Россия

Аннотация. Зарядковые поливы, в том числе осенние, проводят для условий сибирского региона на длительно сезоннопромерзающих почвах, в основном для восполнения весеннего дефицита влаги в почве. Цель исследований – определение норм осеннего влагозарядкового полива для восполнения весеннего дефицита влаги в активном слое почвы. Лесостепная зона юга Красноярского края характеризуется малоснежной зимой и частыми весенними ветрами, когда небольшие снеговые запасы полностью выдуваются с поверхности почвы. К началу посева сельскохозяйственных культур или в начале вегетации многолетних трав почва испытывает недостаток влаги. Влагозарядковые поливы обычно проводят большими нормами для более глубокого промачивания почвы. При этом большая часть влаги теряется на инфильтрацию в более глубокие горизонты почвы за пределы корнеобитаемого слоя. Нами проводились исследования по влиянию норм в 50 и 100 мм в виде осеннего влагозарядкового полива на содержание влагозапасов в почве весной следующего года. Зарядковые поливы способствуют получению хорошо развитой зеленой массы растений, которые раньше и плотнее закрывают поверхность почвы от чрезмерного нагревания солнцем, что актуально в условиях засушливой зоны. Более сильные всходы в дальнейшем полнее используют питательные вещества почвы и влагу осадков, а также оросительную воду.

Ключевые слова: полив, осенняя влагозарядка, норма, варианты, весенние влагозапасы, наименьшая влагоемкость, урожайность

Формат цитирования: Бадмаева С.Э. Влияние осенних влагозарядковых поливов на весенние влагозапасы // Природообустройство. 2025. № 2. С. 15-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-15-19>

Original article

THE EFFECT OF AUTUMN WATER-CHARGING IRRIGATION ON SPRING MOISTURE RESERVES

S.E. Badmaeva

Krasnoyarsk state agrarian university; 660049 Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, Rossiya

Abstract. Spring irrigation, including autumn irrigation, is carried out for the conditions of the Siberian region on long-seasonally freezing soils, mainly to make up for spring moisture deficiency in the soil. The purpose of the research is to determine the norms of autumn water-charging irrigation to compensate for the spring moisture deficiency in the active soil layer. The forest-steppe zone of the south of the Krasnoyarsk Territory is characterized by low-snow winters and frequent spring winds, when those small snow reserves are completely blown off the soil surface. By the beginning of sowing crops or at the beginning of the growing season of perennial grasses, the soil lacks moisture. Moisture-charging irrigation is usually carried out with large norms for deeper soaking of the soil. At the same time, most of the moisture is lost to infiltration into deeper soil horizons beyond the root layer. We conducted studies on the effect of norms of 50 and 100 mm in the form of autumn moisture-charging irrigation on the content of moisture reserves in the soil in the spring of next year. Charging irrigation helps to obtain a well-developed green mass of plants, which earlier and more densely cover the soil surface from excessive heating by the sun, which is important in the conditions of the arid zone. Stronger seedlings further make fuller use of soil nutrients and precipitation moisture, as well as irrigation water.

Keywords: watering, autumn moisture charge, norm, options, spring moisture reserves, lowest moisture capacity, yield

Format of citation: Badmaeva S.E. The effect of autumn water-charging irrigation on spring moisture reserves // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 15-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-15-19>

Введение. В условиях засушливого климата выращивание культурных растений не представляется возможным без применения дополнительного увлажнения – орошения. Способы и техника полива могут быть разными в зависимости от почвенно-климатических условий и возделываемых культур [1-5]. Особое значение имеет применение влагозарядковых поливов на орошаемых участках. Эффективности влагозарядки в изменении свойств и режимов почвы посвящены работы [6-8].

Как подчеркивают авторы [6, 7], осенние влагозарядковые поливы широко практикуются в условиях резко засушливого климата Центральной Якутии для увеличения биопродуктивности не только сельскохозяйственных культур, но и естественных луговых растений. Отмечено, что в суровых почвенно-климатических условиях региона осенние влагозарядковые поливы, кроме восполнения дефицита весенней влаги в почве, способствуют увеличению объемной теплоемкости почвы.

Осенний зарядковый полив поверхностным способом издавна практиковался в южных районах Красноярского края под ранние яровые культуры и многолетние травы. В прошлом столетии из 49,5 тыс. га орошаемых земель 21,8 тыс. га, или 44%, было охвачено зарядковыми поливами. Осенняя влагозарядка проводилась на 5,5 тыс. га, что составило 25% от площади, охваченной зарядковыми поливами, или 11% от площади орошаемых земель [8]. В последние годы влагозарядковые поливы проводятся на локальных земельных участках без научно обоснованных сроков и норм полива. Разработка сроков и норм осенней влагозарядки для оптимизации влагозапасов почвы на черноземах обыкновенных Красноярской лесостепи является актуальной.

Цель исследований: определение норм осеннего влагозарядкового полива для восполнения весеннего дефицита влаги в активном слое почвы.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на ключевых участках стационара «Новоселово», расположенного в лесостепной зоне в провинции разнородностей черноземов обыкновенных Чулымско-Енисейского южного округа, сформированного на лессовидных суглинках четвертичных отложений [9].

Проводились вегетационно-полевые опыты в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением. Площадь делянок – 8 м² (2 × 4), с защитной полосой 4 м между ними. Делянки изолированы от грунта

с боков полиэтиленовой пленкой на глубину 60 см. Нарезка щелей для закладки пленки производилась мерзлотно-диско-фрезерной машиной. Влажность почвы определялась по слоям почвы 10 см в трехкратной повторности по декадам, до полива и после него, также после выпадения эффективных осадков. Культура – овес, посев проводился вручную, норма высева – 200 кг/га. Учет урожая производился сплошным способом в четырехкратной повторности. Способ полива – дождевание (имитация дождевания с применением ручной лейки).

Изучались водно-физические свойства почв опытного участка: наименьшая влагоемкость по А.А. Роде; водопроницаемость методом заливаемых площадей; плотность сложения по Н.А. Качинскому [10]. В состав агрохимических исследований входило определение гумуса по И.В. Тюрину, обменного калия и подвижного фосфора по В.Ф. Чирикову [11].

Исходной информацией явились анализ источников литературы и фондовых материалов, результаты полевых исследований и лабораторных анализов. Статистическая обработка однофакторных и двухфакторных опытов производилась с использованием программного комплекса SPSS.

Результаты и их обсуждение. В климатических условиях Новоселовского района ко времени посева сравнительно влажным является только верхний слой почвы. Естественное увлажнение не обеспечивает к моменту посева создание влажности почвы, достаточной для оптимального роста многолетних трав и появления дружных всходов, поэтому проведение влагозарядковых поливов здесь необходимо.

В послеуборочный период 2021 г. метеорологические условия складывались вполне благоприятно, атмосферные осадки хорошо увлажнили верхний слой почвы 0-20 см, и запас влаги составил 63-68 мм. Через 4 суток после проведения осеннего влагозарядкового полива нормой 50 и 100 мм обеспеченность влагой слоя 0-20 см была близка к 100% НВ (табл. 1).

В нижележащем 30-сантиметровом слое почвы запас влаги после влагозарядковых поливов составлял 81-86 мм, или 79-83% НВ. На контрольном (без поливов) варианте запас влаги составил 48 мм, или 46% НВ.

После осенних влагозарядковых поливов нормой 50 и 100 мм запас влаги в активном слое почвы составил 144-154 мм, что соответствует 83-89% НВ, тогда как на контроле этот показатель составил 115 мм, или 66% НВ. Следовательно, перед уходом в зиму варианты с осенними

влагозарядковыми поливами имели оптимальную увлажненность.

За период с ноября по март выпало всего 45 мм твердых осадков, что составляет половину нормы от среднеемноголетних показателей (рис. 1). Существенного влияния на изменение влажности почвы такие осадки оказать не смогли, поскольку осадки выпадали в виде снега и часть их была снесена с поверхности поля в результате ветров.

Начало вегетационного периода (апрель, май) 2022 г. характеризовалось низкими температурами воздуха, выпало 45 мм осадков, что вполне достаточно для роста растений.

Запас влаги в слое 0-20 см контрольного варианта составил 47 мм, или 68% НВ. На опытах

с осенними влагозарядковыми поливами запас влаги был выше 7-10 см, и обеспеченность влагой пахотного горизонта составила около 80% НВ (табл. 2).

В целом в слое почвы 0-50 см весной, после осенних влагозарядковых поливов, запас влаги был на 36-40 мм выше, чем на контроле. Анализ полученных результатов показывает, что в сложившихся метеорологических условиях не установлено влияние норм полива на увеличение запаса влаги в почве. На рисунке 2 представлена диаграмма весенних запасов влаги в слое почвы 0-50 см после проведения осенней влагозарядки предыдущего года.

Действие зарядкового полива на урожайность сельскохозяйственных культур может

Таблица 1. Осенние запасы влаги при влагозарядковых поливах, мм

Table 1. Autumn moisture reserves during moisture-charging irrigation, mm

Глубина Depth	Контроль / Control		Полив 50 мм / Watering 50 mm		Полив 100 мм / Watering 100 mm	
	Запасы, мм Reserves, mm	% НВ % HB	Запасы, мм Reserves, mm	% НВ % HB	Запасы, мм Reserves, mm	% НВ % HB
0-20	67	97	63	91	68	98
20-50	48	46	81	79	86	83
0-50	115	66	144	83	154	89

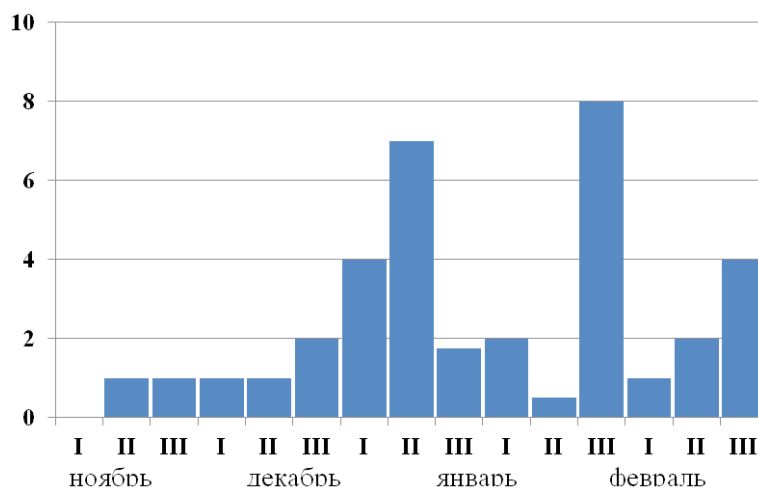


Рис. 1. Высота снежного покрова по месяцам, см

Fig. 1. Snow cover height by months, cm

Таблица 2. Весенние запасы влаги при влагозарядковых поливах, мм

Table 2. Spring moisture reserves during moisture-charging irrigation, mm

Глубина Depth	Контроль / Control		Полив 50 мм / Watering 50 mm		Полив 100 мм / Watering 100 mm	
	Запасы, мм Reserves, mm	% НВ % HB	Запасы, мм Reserves, mm	% НВ % HB	Запасы, мм Reserves, mm	% НВ % HB
0-20	47	68	57	82	54	78
20-50	45	45	75	75	74	72
0-50	92	53	132	77	128	74

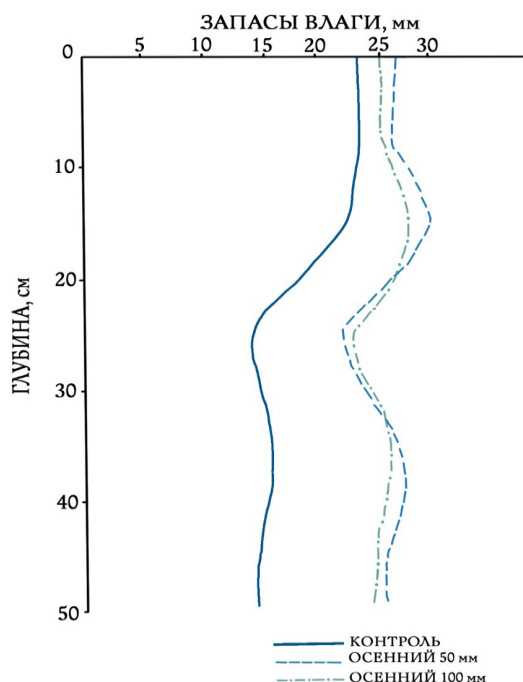


Рис. 2. Весенние запасы влаги

Fig. 2. Spring moisture reserves

значительно меняться в зависимости от условий естественного увлажнения в период накопления влаги в почве (октябрь-апрель) и сроков сева после зарядкового полива. Влагозапасы от зарядковых поливов способствуют получению достаточно густых и дружных всходов — основы высокого урожая. При ослабленных и редких всходах все последующие приемы агротехники, в том числе вегетационные поливы, не проявятся в должной мере и не обеспечат получения высокого урожая культур.

Обязательным условием при оросительных мелиорациях является применение органических и минеральных удобрений. На экспериментальных участках весной перед посевом были внесены минеральные удобрения в дозах, оптимальных для каждой почвенной разности.

На черноземе обыкновенном урожай овса (воздушно-сухая масса) на вариантах с осенними поливами выше, чем на контроле, что доказано статистически (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность овса при влагозарядковых поливах

Table 3. Oat yield during moisture-charging irrigation

Варианты Variants	Урожайность, т/га Yield productivity, t / ha	Прибавка от полива Increase from irrigation	
		т/га / t / ha	%
Контроль / Control	9,7	—	—
Осенний полив 50 мм / Autumn irrigation	11,9	2,2	18,5
Осенний полив 100 мм / Autumn irrigation 100 mm	12,0	2,3	19,2
НСР / LSD (Least significant difference)	1,53		

Выводы

Проведенные исследования показали, что в условиях благоприятного естественного осенне-весеннего увлажнения в черноземе обыкновенном после осенней влагозарядки к моменту сева сельскохозяйственных культур сохранилось 36-40 мм дополнительной влаги в слое почвы 0-50 см. На контрольном варианте оптимальное увлажнение наблюдалось лишь в пахотном слое почвы, а нижележащие горизонты были обеспечены влагой на уровне 44% НВ. Установлено, что осенние зарядковые

поливы нормой 50 мм позволяют поддерживать оптимальную влажность почвы на уровне 75% НВ в слое почвы 0-50 см к началу вегетационного периода следующего года. Выявлено положительное влияние осенних влагозарядковых поливов на повышение урожайности овса, прибавка составила 2,2-2,3 т/га. Для производственных условий можно рекомендовать проведение осенних влагозарядковых поливов нормой 50 мм после завершения уборки урожая до наступления отрицательных температур почвы.

Список использованных источников

1. Бадмаева С.Э. Экологически безопасные нормы полива при выращивании многолетних травосмесей в условиях Красноярского края // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 2. С. 29-32.
2. Бадмаева Ю.В. Мелиоративные мероприятия по оптимизации свойств агроландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 20-24.
3. Бадмаева Ю.В. Экологические ограничения мелиоративных режимов в агроландшафтах / Ю.В. Бадмаева,

References

1. Badmaeva S.E. Ecologically safe irrigation standards for growing perennial grass mixtures in the conditions of the Krasnoyarsk Territory // Melioration and water management. 2023. No. 2. P. 29-32.
2. Badmaeva Yu.V. Meliorative measures to optimize the properties of agricultural landscapes // Melioration and water management. 2023. No. 3. P. 20-24.
3. Badmaeva Yu.V., Muradyan G.A. Environmental restrictions of reclamation regimes in agricultural

Г.А. Мурадян. // Естественные и технические науки. 2023. № 5. С. 390-391.

4. Кирейчева Л.В. Подходы к обоснованию размещения сельскохозяйственных мелиораций // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 4. С. 11-15.

5. Снежко В.Л. Современные изменения мелиоративного состояния орошаемых земель Алтайского края / В.Л. Снежко, Д.М. Бенин, А.В. Шишкин, А.В. Бойко, А.В. Скрипкин // Природообустройство. 2022. № 4. С. 13-21. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-13-21.

6. Макаров В.С. Влияние влагозарядкового полива на теплофизические свойства мерзлотной лугово-черноземной почвы в долине р. Лена / В.С. Макаров, Д.Д. Саввинов, Г.Н. Саввинов // Наука и образование. 2017. № 3. С. 107-110.

7. Саввинов Д.Д. и др. Влияние осенних влагозарядковых поливов на расход почвенной влаги и урожайность овса в долине р. Лена // Наука и образование. 2016. № 4. С. 140-143.

8. Бадмаева С.Э. Современное состояние мелиоративного комплекса в Республике Хакасия / С.Э. Бадмаева В.А. Тарбеев // Плодородие. 2024. № 2. С. 74-79.

9. Бадмаева С.Э. Агроэкологический мониторинг состояния черноземов лесостепной зоны Красноярского края // Природообустройство. 2023. № 1. С. 33-38. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-33-37>

10. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств и грунтов / А.Ф., Вадюнина З.А. Корчагина. Учебное пособие. М.: Высшая школа. 1961. 345 с.

11. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.

landscapes // Natural and technical sciences. 2023. No. 5. P. 390-391.

4. Kireicheva L.V. Approaches to substantiating the placement of agricultural land reclamation // Melioration and water management. 2017. No. 4. P. 11-15.

5. Snezhko V.L., Benin D.M., Shishkin A.V., Boyko A.V., Skripkin A.V. Modern changes in the reclamation status of irrigated lands of the Altai Territory // Prirodoobustroystvo. 2022. No. 4. P. 13-21. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-13-21.

6. Makarov V.S., Savvinov D.D., Savvinov G.N. The effect of moisture-charging irrigation on the thermophysical properties of permafrost meadow-chernozem soil in the Lena River valley // Science and Education. 2017. No. 3. P. 107-110.

7. Savvinov D.D. et al. The influence of autumn moisture-charging irrigation on the consumption of soil moisture and oat yield in the Lena River valley // Science and Education. 2016. No. 4. P. 140-143.

8. Badmaeva S.E., Tarbeev V.A. The current state of the reclamation complex in the Republic of Khakassia // Fertility. 2024. No. 2. pp. 74-79.

9. Badmaeva S.E. Agroecological monitoring of the state of chernozems of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory // Prirodoobustroystvo. 2023. No. 1. pp. 33-38. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-33-37>

10. Vadyunina A.F., Korzhagina Z.A. Methods of studying physical properties and soils. The training manual. M.: Higher School. 1961. 345 p.

11. Agrochemical methods of soil research / edited by A.V. Sokolov, Moscow: Nauka Publ., 1975. 656 p.

Об авторе

Софья Эрдыниевна Бадмаева, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой «Кадастр застроенных территорий и геоинформационные; s.bad55@mail.ru

About the Author

Sofya E. Badmaeva, DSC (Biology), professor, head of the department "Cadaster of built-up territories and geo information"; s.bad55@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Бадмаева С.Э. выполнила практические и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись. Бадмаева С.Э. имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

S.E. Badmaeva carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote a manuscript. She has a copyright to the article and is responsible for plagiarism.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 05.11.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 18.02.2025

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-20-23>

УДК 631.67:631.3



ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА ДЕФЛЕКТОРНЫМИ ДОЖДЕВАТЕЛЯМИ NELSON IRRIGATION

Л.А. Журавлёва

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

Аннотация. Равномерность полива широкозахватными дождевальными машинами во многом определяется установленными на них дождевателями, их конструктивными особенностями, расстоянием между ними вдоль трубопровода и давлением воды. Цель исследований – подбор модели дождевателей, обеспечивающей равномерный полив при работе на низком давлении и определение оптимальных расстояний между ними. На основании теоретических предпосылок были выбраны популярные модели PC-S3000 и PC-R3000 для проведения экспериментальных исследований. Для каждого дождевателя было выбрано 5 сопел различного диаметра. Рабочее давление менялось в границах 0,06-0,14 МПа. Были построены поверхности с наложенным слоем осадков. Определено, что площади полива под расположенными на расстоянии 1 и 5 м друг от друга дождевателями имеют значительно меньшую равномерность, чем расположенные на расстоянии 2-4 м. Интервал установки дождевателей в 3 м друг от друга модели PC-R3000 дает коэффициент Кристиансена в 86,8%.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства России (номер государственной регистрации темы – 1022071100103-2-1.5.8.)

Ключевые слова: полив дефлекторными дождевателями, дождевальные машины, слой осадков, давление, равномерность, расход воды

Формат цитирования: Журавлева Л.А. Оценка равномерности полива дефлекторными дождевателями Nelson Irrigation // Природообустройство. 2025. № 2. С. 20-23. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-20-23>

Original article

ASSESSMENT OF THE UNIFORMITY OF IRRIGATION BY NELSON IRRIGATION DEFLECTOR SPRINKLERS

L.A. Zhuravleva

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

Abstract. The uniformity of irrigation with wide-range sprinklers is largely determined by the sprinklers installed on them, their design features, the distance between them along the pipeline and the water pressure. The purpose of the study was to select a model of sprinklers that ensure uniform watering when operating at low pressure and determine the optimal distances between them. Based on theoretical assumptions, the popular PC-S3000 and PC-R3000 models were selected for experimental research. Five nozzles of different diameters were selected for each sprinkler. The operating pressure varied in the range of 0.06-0.14 MPa. The surfaces were built with a superimposed layer of precipitation. It was determined that the irrigation areas under sprinklers located at a distance of 1 and 5 meters from each other have significantly less uniformity than those located at a distance of 2-4 meters. The interval of installation of sprinklers 3 meters apart from each other of the PC-R3000 model gives a Christiansen coefficient of 86.8%.

The work was carried out at the expense of the federal budget as part of the state task of the Ministry of Agriculture of Russia. The topic was registered under the number 1022071100103-2-1.5.8.

Keywords: irrigation with deflector sprinklers, sprinklers, rainfall layer, pressure, uniformity, water flow rate

Format of citation: Zhuravleva L.A. Assessment of the uniformity of irrigation by Nelson irrigation deflector sprinklers // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 20-23. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-20-23>

Введение. В настоящее время зарубежные компании предлагают большой ассортимент дефлекторных дождевателей различного типа. Популярными моделями последних лет в РФ стали дождеватели Nelson Irrigation, на долю которых приходится почти половина всех ввозимых из-за границы дождевателей для широкозахватной дождевальной техники [1].

Качество полива, равномерность, интенсивность дождя, диаметр капель во многом определяются конструктивными особенностями дождевателей [2-9]. Проблема усугубляется при поливе с внесением удобрений в условиях частых ветров при обеспечении прецизионного полива.

Цель исследований: подобрать модели дождевателей, обеспечивающие равномерный полив при работе на низком давлении, и определить оптимальные расстояния между ними.

Материалы и методы исследований. Проведенный анализ позволил выделить две популярные модели дождевателей для экспериментальных испытаний: PC-S3000, PC-R3000 (рис. 1) [10].

Модели PC-S3000 и PC-R3000 – дефлекторного типа кругового полива. В соответствии с рекомендациями компании-производителя назначение PC-S3000 – создание мягкого дождевого потока, а назначение PC-R3000 – для дождевальных машин, работающих в районах с сильным ветром. Рабочее давление менялось в границах 0,06-0,14 МПа.

Для каждого дождевателя было выбрано 5 сопел различного диаметра, номера 40, 34, 28, 20, 14.

Испытуемый дождеватель вывешивался на стенд с установленными дождемерами, размещенными по радиусам полива с интервалом 0,5 м и под углом 15°. Измерялись температура, скорость ветра, объем воды в дождемерах. Исследования проводились при скорости ветра не больше 2 м/с.

Результаты и их обсуждение. В результате исследований были получены поверхности с наложенным слоем осадков (рис. 2, 3).

Как следует из данных рисунка 2, дождеватель создает полосу по максимальному радиусу со значительным слоем осадков, обозначенную более темными участками. Радиус распыливания отличается от круга. Сбоку от дождевателя радиус распыливания уменьшался до 4 м с правой стороны и 2,5-3 м с левой стороны, что свидетельствует о значительной неравномерности полива. Следует отметить, что при повышении давления и установке сопел больших размеров неравномерность полива выражена более слабо.

Поверхность с наложенным слоем осадков для PC-R3000 (№ 14), давление 0,10 МПа, представлена на рисунке 3.

На рисунке 3 прослеживается менее ярко выраженная разница в количестве осадков. При увеличении давления качество полива также возрастает.

Остальные модели дождевателей показали большую разницу в количестве осадков при малых давлениях и диаметрах сопла.



PC-S3000

PC-R3000

Рис. 1. Модели дождевателей

Fig. 1. Sprinkler models

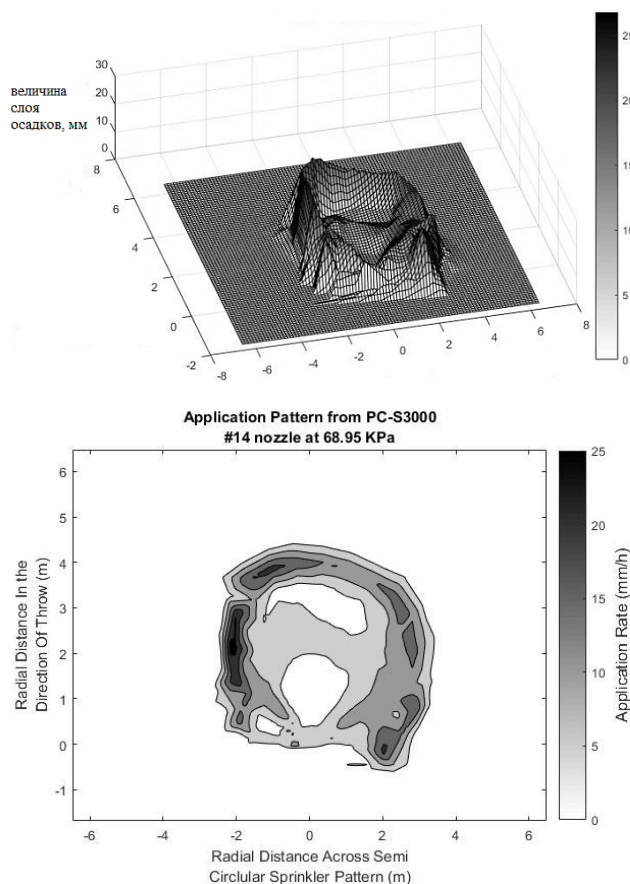


Рис. 2. Поверхность с наложенным слоем осадков для PC-S3000 (№ 14), давление 0,07 МПа

Fig. 2. Precipitated surface for PC-S3000 (No14), pressure 0.07MPa

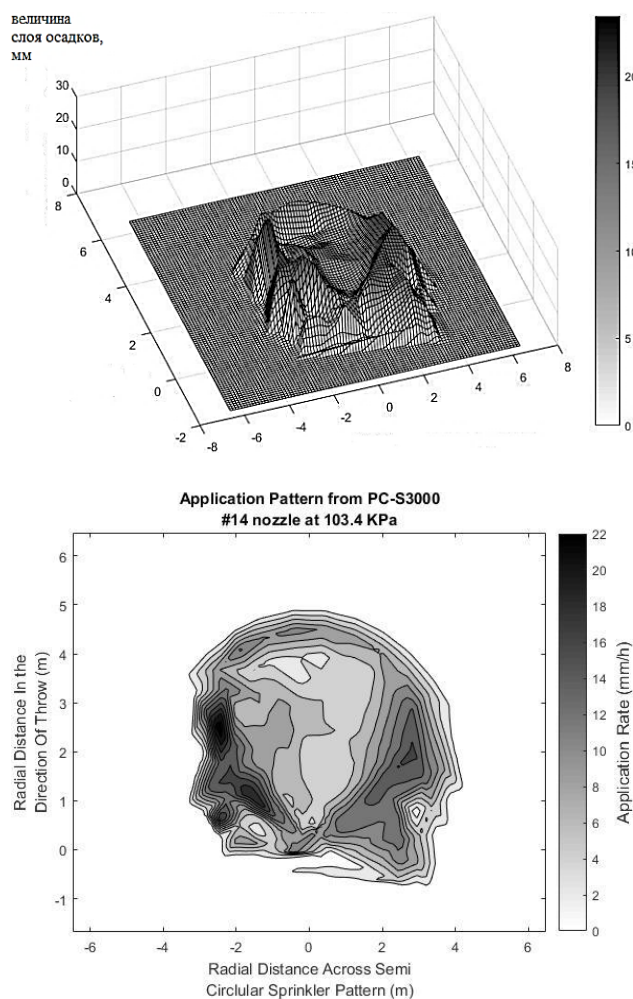


Рис. 3. Поверхность с наложенным слоем осадков PC-R3000 (№ 14), давление 0,1 МПа

Fig. 3. Precipitated surface for PC-R3000 (No14), pressure 0.1MPa

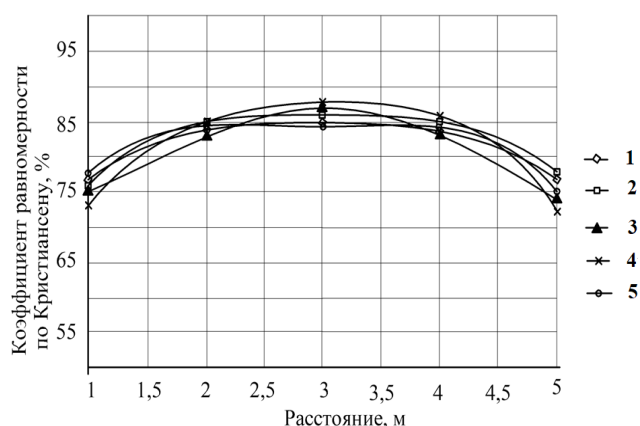


Рис. 4. Оценка равномерности полива от расстояния между дождевателями при давлении:

1-0,8 МПа; 2-0,9 МПа; 3-0,1 МПа;
4-0,14 МПа; 5-0,6 МПа

Fig. 4. Evaluation of the uniformity of irrigation from the distance between sprinklers at pressure: 1-0.8 MPa, 2-0.9 MPa, 3-0.1 MPa, 4-0.14 MPa, 5-0.6 MPa

Увеличение давления также приводит к увеличению радиуса распыливания и качества полива, равномерности в целом. Увеличенный размер сопла увеличивает расход воды, а следовательно, объем осадков.

В ходе всех проведенных испытаний дождевателя PC-R3000 с круговым поливом был выявлен ряд недостатков. Так, все эксперименты показали, что дождеватели создают орошаемое поле в форме не идеально круглой формы, в то время как при проектировании схем размещения дождевателей для точного полива важно, чтобы они были расположены на правильном расстоянии друг от друга и орошали точно определенное поле.

Смоделируем полив при движении машины с установленными дождевателями. Учитывая значительный радиус машины, движение тележек можно принять как прямолинейное. Для определения объема воды, подаваемой дождевателем при прохождении над участком, принималась средняя скорость 100 м/ч. Затем полученный объем осадков суммировался в направлении движения и от соседних дождевателей.

Площади полива под расположенные на расстоянии 1 и 5 м друг от друга дождевателями имеют значительно меньшую равномерность, чем расположенные на расстоянии 2-4 м.

Полив при давлении 0,06-0,1 МПа и соплом № 14 лучше всего работает на расстоянии от 2 до 4 м. Модель показала, что интервал установки дождевателей в 3 м друг от друга дает коэффициент Кристиансена в 86,8% (рис. 5).

Дождеватель с другими установленными соплами номенклатурного ряда показывает тот же принцип распределения значений коэффициента равномерности в зависимости от расстояния между дождевателями.

Испытания модели PC-S300 при различных вариантах давления и расхода, обеспечиваемых разными соплами, показывают, что расстояние между 2 и 4 м дает значение коэффициента в диапазоне от 83 до 86%. Этот диапазон является приемлемым. Однако такие данные относятся только к идеальным условиям. Колебания рельефа, наличие ветра – все это будет иметь решающее значение и влиять на коэффициент равномерности.

Согласно ГОСТ ИСО 11545-2004 испытания по определению равномерности орошения или рабочих характеристик дождевателей не рекомендуется проводить, если скорость ветра превышает 3 м/с. Но поскольку в рекомендациях по эксплуатации для широкозахватной дождевальной техники максимальная допустимая скорость ветра при поливе составляет 10 м/с, важно учитывать ветровые нагрузки, характерные для

региона, и рациональное расстояние является балансом между возможностью повысить равномерность полива и стоимость машины. Уменьшение расстояния между дождевателями меньше 2,0 м является экономически нецелесообразным.

Рельеф также в значительной мере влияет на колебания характеристик потока в трубопроводе машины и на качественные показатели полива. Рациональным конструктивным решением при поливе на сложном рельефе

является установка дождевателей с регуляторами давления.

Выводы

Проведенные исследования позволили оценить равномерность полива известными моделями дождевателей, выбрать модели, обеспечивающие равномерный полив при работе на низком давлении, и определить оптимальные расстояния между ними.

Список использованных источников

1. Есин А.И. Ресурсосберегающие технологии и дождевательные машины кругового действия: Монография. / А.И. Есин, Л.А. Журавлёва, В.А. Соловьев. Саратов: Амрит, 2019. 214 с.
2. Журавлёва Л.А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевательные машины кругового действия: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: ФГБОУ ВО СГАУ имени Вавилова Н.И., 2018. 409 с.
3. Рыжко Н.Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: Монография. Саратов: Саратовский источник, 2007. 110 с.
4. Рыжко Н.Ф. Ресурсосбережение как основа совершенствования многоопорных дождевательных машин / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.С. Смирнов, С.А. Хорин // Природообустройство. 2022. № 1. С. 12-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-1-12-19>
5. Губер К.В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: ФГБНУ ВНИИГиМ, 2000. 518 с.
6. Снпич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: Дис. ... д-ра техн. наук. Новочеркасск: ФГНУ РосНИИПМ, 2011. 340 с.
7. Слюсаренко В.В. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низконапорном режиме / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлёва, Н.Ф. Рыжко // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 22.
8. Esin A.I., Zhuravleva L.A., Boikov V.M., Mukhin V.A., Serebrennikov F.V. Mathematical Modeling of Water Conducting belt for circular action Sprinkler // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. T. 10, No. 10. Special Issue. C. 2135-2141.
9. Martin D.L. Design and operation of sprinkle systems. DOI: 10.13031/2013.23699, 2007.
10. Pivot PP2EG. Nelson. Решения для механизированного орошения. Оросительное оснащение для дождевательных машин. [Электронный ресурс]. Режим доступа: nelsonirrigation.com (дата обращения: 04.12.2024).

Об авторе

Лариса Анатольевна Журавлёва, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; RINCS ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; dfz@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Журавлёва Л.А. выполнила теоретические и практические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 16.08.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.01.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.01.2025

References

1. Yesin A.I. Resource-saving technologies and circular sprinkler machines: Monograph / A.I. Yesin, L.A. Zhuravleva, V.A. Solovyov. Saratov: Amirit, 2019. 214 p.
2. Zhuravleva L.A. Resource-saving wide-range circular sprinkler machines: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. Moscow: N.I. Vavilov SSAU, 2018. 409 p.
3. Ryzhko N.F. Improvement of technical means and irrigation technology in the Volga region: Monograph. Saratov: Saratov Source, 2007. 110 p.
4. Ryzhko N.F. Resource conservation as a basis for improving multi-support sprinkler machines / N.F. Ryzhko, S.N. Ryzhko, E.S. Smirnov, S.A. Khorin // Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 1. P. 12-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-1-12-19>
5. Guber K.V. Resource-saving technologies and designs of irrigation systems during sprinkling: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. Moscow: FGBNU VNIIGiM, 2000. 518 p.
6. Snipich Yu.F. Intensification of technologies and improvement of irrigation equipment by sprinkling: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. Novocherkassk: FGNU RosNIIPM, 2011. 340 p.
7. Slyusarenko V.V., Zhuravleva L.A., Ryzhko N.F. Experience of operation of DM "Frigate" in low-pressure mode. Land reclamation and water management. 2004. No. 1. P. 22.
8. Esin A.I. Mathematical Modeling of Water Conducting belt for circular action Sprinkler / A.I. Esin, L.A. Zhuravleva, V.M. Boikov, V.A. Mukhin, F.V. Serebrennikov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Vol. 10. No. 10 Special Issue. P. 2135-2141.
9. Martin D.L. "Design and operation of sprinkle systems", DOI: 10.13031/2013.23699, 2007.
10. Pivot PP2EG. Nelson. Solutions for mechanized irrigation. Irrigation equipment for sprinklers. [electronic resource]. Access mode: nelsonirrigation.com – (Date of access: 04.12.2024).

Information 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

Zhuravleva L.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/10.26897/1997-6011-2025-2-24-32>

УДК 631.67:631.347



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШЛАНГОВОГО ДОЖДЕВАТЕЛЯ ПРИ ПОЛИВЕ РАССАДЫ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР, ВЫРАЩИВАЕМЫХ КАССЕТНЫМ СПОСОБОМ В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ

А.И. Рязанцев^{1✉}, В.С. Травкин^{1,2}, Е.Ю. Евсеев³, О.В. Ануфриева³

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения „Радуга“ (ФГБНУ ВНИИ „Радуга“); 140483, Московская область, Коломенский городской округ, поселок Радужный, д. 38, Россия

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

³ Государственное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Государственный социально-гуманитарный университет»; 140411, г.о. Коломна, ул. Зеленая, 30, Россия

Аннотация. В статье отмечается, что в настоящее время для полива кассетной рассады в теплицах находит широкое применение шланговый дождеватель позиционного действия ДШ-0,6, усовершенствованный для условий закрытого грунта. Усовершенствование дождевателя заключается в замене концевых насадок секторного действия на круговые насадки, определяемой уменьшением его радиуса действия вследствие ограниченной ширины типового модуля теплицы (9 м). Цель исследований – повышение качества полива рассады овощных культур, выращиваемых кассетным способом в защищенном грунте, посредством совершенствования шлангового дождевателя. В ходе теоретических исследований, исходя из конструктивных параметров дождевательных крыльев шлангового дождевателя и ширины модуля теплицы, было выявлено, что расстановка насадок осуществляется таким образом, чтобы обеспечить как можно большее перекрытие факелов дождя от круговых и секторных насадок и последних, в середине теплицы, – между собой. При этом расстояние a от места крепления насадок секторного действия до места крепления насадок кругового действия, определяемое по выражению 1, должно составлять около 0,80 м. Для оценки эффективности полива при использовании методики, описанной в СТО АИСТ 11.1-2010, было выявлено, что коэффициент эффективного полива для круговой орошаемой площади составляет около 0,75, а для квадратной (с учетом не поливаемых участков) – не более 0,60. Увеличение его возможно посредством перекрытия при поливе смежных позиций. При анализе графоаналитической зависимости установлено, что при перекрытии, равном $0,5d$, не поливаемая площадь составляет около 20 м^2 против $9,5$ и $4,8 \text{ м}^2$ соответственно при перекрытии, равном $0,6$ и $0,7d$. При этом коэффициент эффективности полива возрастает от значения без перекрытия, равного 0,60, до 0,75 с перекрытием $0,7d$. В результате проведения исследований были получены эксплуатационные показатели работы дождевательной установки, которые позволили сделать следующие выводы: для обеспечения эффективного полива шланговым дождевателем рассады овощных культур, выращиваемых кассетным способом в закрытом грунте, необходимо: обеспечить расстояние между насадками кругового и секторного действия, равное 0,80 м; производить смену позиции при перекрытии не менее 0,7 диаметра орошаемой круговой площади.

Ключевые слова: полив, дождевальная установка, ДШ-0,6, дождевательные насадки, перекрытие позиций, неполиваемая площадь, равномерность полива, защищенный грунт, кассетный способ

Формат цитирования: Рязанцев А.И., Травкин В.С., Евсеев Е.Ю., Ануфриева О.В. Совершенствование шлангового дождевателя при поливе рассады овощных культур, выращиваемых кассетным способом в закрытом грунте // Природообустройство. 2025. № 2. С. 24-32. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-24-32>

Original article

IMPROVEMENT OF THE HOSE SPRINKLER WHEN WATERING SEEDLINGS OF VEGETABLE CROPS GROWN BY THE CASSETTE METHOD IN CLOSED GROUND

A.I. Ryazantsev^{1✉}, V.S. Travkin^{1,2}, E.Yu. Evseev³, O.V. Anufrieva³

¹Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems "Raduga" (Federal State Budgetary Research Institution of the Research Institute "Raduga"), 140483 Moscow region, Kolomna city district, Raduzhny settlement, 38, Russia

²Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44 building 2, Russia

³The State Educational Institution of Higher Education of the Moscow region "State Social and Humanitarian University", 140411, Kolomna, Zelenaya str., 30, Russia

Abstract. The article notes that at present, for watering cassette seedlings in greenhouses, the DSh-0.6 positional hose sprinkler, improved for indoor conditions, is widely used. The improvement of the sprinkler consists in the replacement of sector-acting end nozzles with circular nozzles, determined by a decrease in its radius of action, due to the limited width of a typical greenhouse module (9 m). **The purpose of the study:** to improve the quality of irrigation of seedlings of vegetable crops grown by the cassette method in protected soil by improving the hose sprinkler. In the course of theoretical studies, based on the design parameters of the sprinkler wings of the hose sprinkler and the width of the greenhouse module, it was found that the nozzles are arranged in such a way as to ensure that the rain torches overlap as much as possible from the circular and sector nozzles and, the latter, in the middle of the greenhouse, with each other. In this case, the distance a from the attachment point of the sector action nozzles to the attachment point of the circular action nozzles, determined by expression 1, should be about 0.80 m. To assess the effectiveness of irrigation, using the well-known technique described in SRT AIST 11.1-2010, it was found that the effective irrigation coefficient for a circular irrigated area is about 0.75, and for a square one, taking into account non-irrigated areas, no more than 0.60, which can be increased by overlapping adjacent positions when watering. When analyzing the graph analytical dependence, it was found that, with overlap equal to $0.5d$, the non-spilled area is about 20 m^2 , versus 9.5 m^2 and 4.8 m^2 , respectively, with overlap equal to $0.6d$ and $0.7d$. At the same time, the irrigation efficiency coefficient increases from a value equal to 0.60 without overlap to 0.75 with an overlap of $0.7d$. As a result of the research, the operational performance of the sprinkler system was obtained, which allowed us to draw the following conclusions: to ensure effective irrigation of seedlings of vegetable crops grown by the cassette method in an enclosed ground with a hose sprinkler, it is necessary: to ensure the distance between circular and sectoral nozzles equal to 0.80 m; to change the position when overlapping at least 0.7 of the diameter of the irrigated circular squares.

Keywords: irrigation, sprinkler system, DSh-0.6, sprinkler nozzles, overlapping positions, non-irrigated area, uniformity of irrigation, protected soil, cassette method

Format of citation: Ryazantsev A.I., Travkin V.S., E. Evseev Yu., Anufrieva O.V. Improvement of the hose sprinkler when watering seedlings of vegetable crops grown by the cassette method in closed ground // Prirodobustroystvo. 2025. № 2. P. 24-32. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-24-32>

Введение. Важнейшей составляющей продовольственной безопасности Российской Федерации и стран СНГ является решение экологической и энергетической проблем в сельском хозяйстве [1, 2]. Одним из актуальных и быстро развивающихся направлений овощеводства является выращивание рассады сельскохозяйственных культур в защищенном (закрытом) грунте для дальнейшего производства в открытом грунте. Такой метод позволяет значительно снизить период вегетации растений, а также добиться увеличения объемов урожая в ранние сроки с экономией при этом посевного ресурса [2, 3].

При выращивании рассады широкое распространение получила грунтовая и горшечная технология, но в последнее время большое внимание уделяется кассетному способу. Кассетная технология защищенного грунта положительно влияет на последующие операции высадки рассады в открытый грунт непосредственно из кассет [4, 5].

Важным элементом качественного выращивания при применении кассетной технологии в теплицах является орошение [5-7].

Овощеводческие хозяйства выращивают кассетную рассаду, как правило, в весенне-пленочных теплицах с шириной модуля

9,0 м, в типовых вариантах которых имело место единичное опытное внедрение дождевальной установки отечественного производства типа АП-2 и финского производства «Liannen» [5].

К дождевальным установкам, подходящим для полива рассады овощных культур в кассетах, следует отнести ДШ-1, «Россинка» и ДШ-0,6. Дождеватели ДШ-1 (рис. 1а) и комплект «Россинка» (рис. 1б) апробировались в ООО (бывш. СЗАО) «Сергиевское» Коломенского района Московской области, а ДШ-0,6 (рис. 2) – в ООО «Племзавод Пойма» (бывш. ПНО «Пойма») Луховицкого района и АО (бывш. АЗОТ) «Озеры» Озерского района Московской области.

Дождевальные установки («ДШ-1, «Россинка») не соответствуют необходимым показателям, так как коэффициент эффективного полива не превышает 0,6 при диаметре капли 1 мм,

следовательно, их невозможно рекомендовать для полива рассады.

Считаем, что в настоящее время для полива кассетной рассады в теплицах может найти широкое применение шланговый дождеватель позиционного действия ДШ-0,6 (авторское свидетельство СССР № 1804289) [1], усовершенствованный для условий закрытого грунта (рис. 2) [8-10].

Цель исследований: повышение качества полива рассады овощных культур, выращиваемых кассетным способом в защищенном грунте, посредством совершенствования шлангового дождевателя.

Материалы и методы исследований. Усовершенствование шлангового дождевателя заключается в замене концевых насадок секторного действия на круговые насадки (патент РФ № 189319 [11]), определяемой уменьшением его



Рис. 1. Общий вид дождевальных установок для полива кассетной рассады:
а – дождевальная установка ДШ-1; б – ДУ «Россинка»

Fig. 1. General view of sprinkler systems for irrigation of cassette seedlings

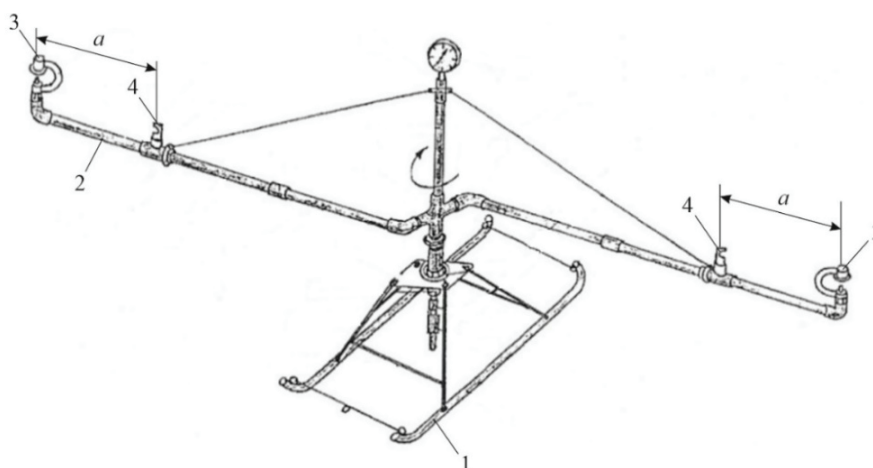


Рис. 2. Общий вид шлангового дождевателя для теплиц:

- 1 – опорное основание; 2 – дождевальные крылья;
3 – концевые насадки кругового действия; 4 – реактивные насадки секторного действия;
а – расстояние между насадками кругового и секторного действия

Fig. 2. General view of a hose sprinkler for greenhouses

- 1 – supporting base; 2 – sprinkler wings; 3 – end nozzles of circular action;
4 – reactive nozzles of sector action; а – distance between nozzles of circular and section action

радиуса действия вследствие ограниченной ширины типового модуля теплицы (9 м) [12].

Технологическая схема работы дождевателя с допустимым превышением радиуса полива насадкой кругового действия (0,30 м) и, как следствие, минимальным стоком воды по стенкам теплицы (не более 5%) приведена на рисунке 3.

Вращение крыльев штангового дождевателя осуществляется, как и у ДШ-0,6, двумя реактивными насадками секторного действия, а его перемещение с позиции на позицию – электроприводной катушкой (патент РФ № 187870) [10].

Картина распределения дождя насадками кругового (а) и секторного (б) действия, по данным имеющихся исследований, приведена на рисунке 4 [11].

Исходя из конструктивных параметров дождевательных крыльев штангового дождевателя и ширины модуля теплицы расстановка насадок осуществляется таким образом, чтобы обеспечить как можно большее перекрытие факелов дождя от круговых и секторных насадок и последних, в середине теплицы, – между собой. При этом расстояние a от места крепления насадок секторного

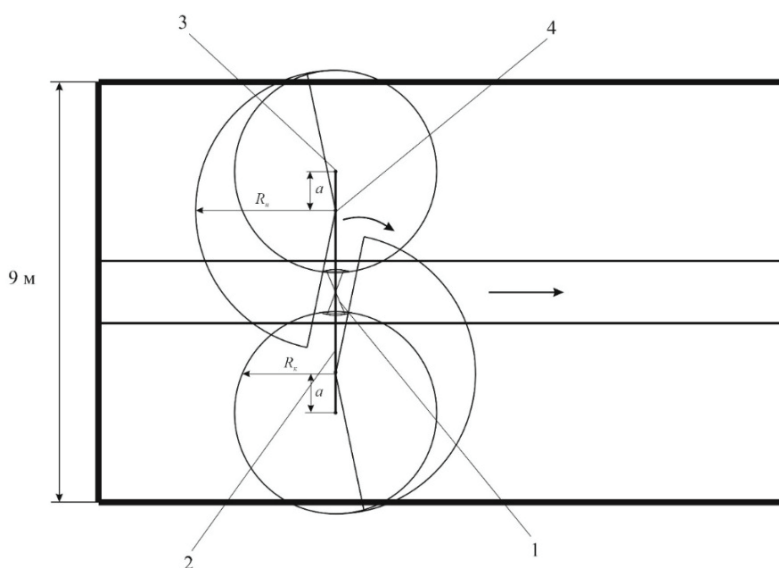


Рис. 3. Технологическая схема полива штанговым дождевателем в теплице:

1 – опорное основание; 2 – дождевательные крылья; 3 – концевые насадки кругового действия; 4 – реактивные насадки секторного действия; R_c – радиус полива реактивной насадкой секторного действия; R_k – радиус полива насадкой кругового действия

Fig. 3. Technological scheme of irrigation with a hose sprinkler in a greenhouse

1 – supporting base; 2 – sprinkler wings; 3 – end nozzles of circular action; 4 – reactive nozzles of sector action; R_c – radius of irrigation by a reactive nozzle of sector action; R_k – radius of irrigation by a nozzle of circular action

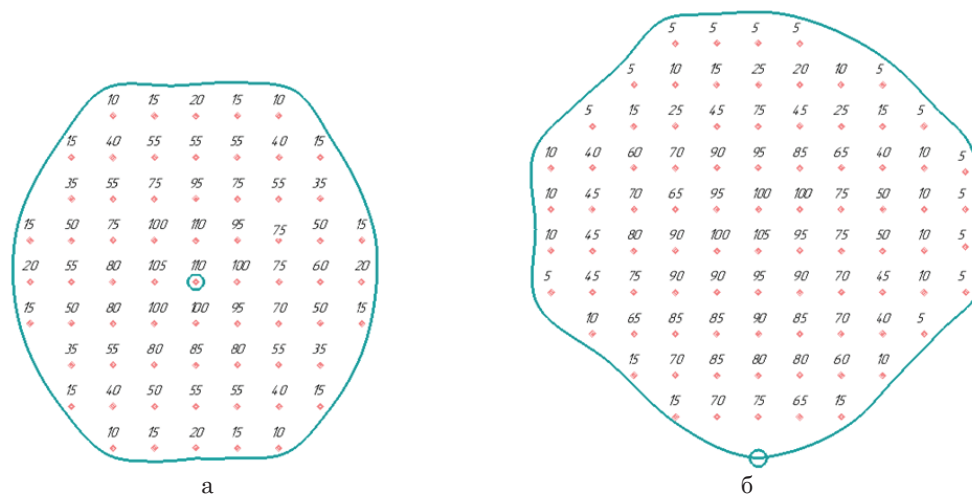


Рис. 4. Распределение дождя насадками по дождемерам:

а – насадки кругового действия; б – насадки секторного действия

Fig. 4. Distribution of rain by nozzles on rain gauges

а – nozzle of a circular action; б – nozzle of a sector action

действия от места крепления насадок кругового действия определяется по выражению 1 [13]:

$$a = R_{\text{сб}} - R_{\text{кв}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{сб}}$ – боковой радиус действия секторной насадки, м; $R_{\text{кв}}$ – радиус действия насадки кругового действия, м.

Исходя из существующих значений радиусов действия насадок и ширины модуля теплицы расстояние a должно составлять 0,80 м.

На рисунке 5, с учетом имеющихся данных (рис. 4), представлена построенная схема распределения, суммированного от двух насадок, слоя дождя (интенсивности) по длине дождевальных крыльев дождевателя при работе его на позиции.

Обработка полученных результатов по известной методике [14] позволила выявить, что коэффициент эффективного полива для круговой орошаемой площади составляет около 0,75, а для квадратной, с учетом неполиваемых участков, – не более 0,60. Увеличение его возможно посредством перекрытия при поливе смежных позиций [15].

Следует отметить, что при уменьшении расстояния a между насадками (менее 0,80 м) несколько повышается равномерность распределения дождя, но с образованием повышенного стока воды по стенкам теплицы, а его увеличение несколько снижает эффективность полива (рис. 6).

Результаты и их обсуждение. Для равномерного распределения дождя при смене позиции дождеобразующих устройств, работающих по кругу, обычно рекомендуют обеспечение перекрытия дождя между позициями на 0,5 диаметра орошаемого круга [16, 17]. При этом в месте стыка орошаемых круговых площадей остаются неполиваемые площадки, что не совсем приемлемо для теплиц с выращиванием рассады кассетным способом, на ограниченной площади.

На рисунке 7 показана схема перемещения шлангового дождевателя на 0,5; 0,6; 0,7 диаметра орошаемого круга.

Для оценки площади неорошаемых участков при различных по радиусу перекрытиях определяют величину хорды L связывающих точки пересечения соответствующих окружностей между собой по выражению:

$$L = (0.5 - 0.7) \times d \times \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где d – диаметр орошаемой круговой площади, м; α – угол между осью абсцисс и прямой, соединяющей точки пересечения с ней и между собой соответствующих окружностей.

Затем по выражению (3) рассчитывается разница H между шириной теплицы B и величиной хорды L :

$$H = B - L, \quad (3)$$

где $H = 2h$; h – высота не поливаемой равнобедренной треугольной площадки, м.

Тогда общая не поливаемая площадь S в модуле теплицы составит:

$$S = \frac{1}{2} \times H \times l \times N, \quad (4)$$

где l – длина основания неполиваемой равнобедренной треугольной площадки, м; N – число обслуживаемых позиций.

Для оценки работы шлангового дождевателя с перекрытием были построены поверхностные графики распределения дождя при степени перекрытия 0,5; 0,6; 0,7 диаметра (рис. 8а-в) и сформирована таблица показателей дождя по рядам дождемеров (табл. 1-3).

Как показывает графоаналитическое обоснование (рис. 9), при перекрытии, равном $0,5d$, неполиваемая площадь составляет около 20 м^2 против $9,5$ и $4,8 \text{ м}^2$ соответственно при перекрытии, равном $0,6$ и $0,7d$.

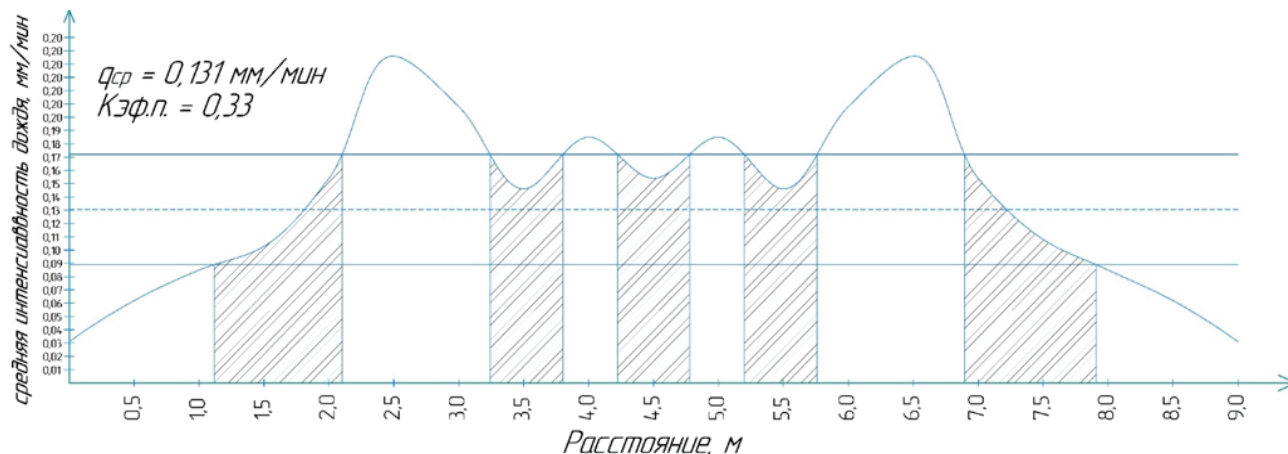


Рис. 5. Распределение дождя шланговым дождевателем

Fig. 5. Rain distribution by a hose sprinkler

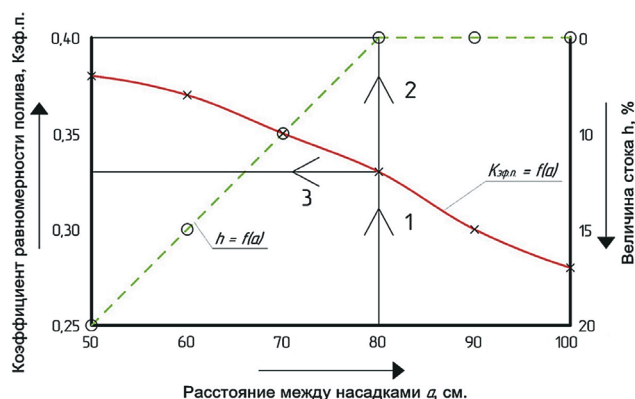


Рис. 6. Графическое обоснование расстояния между насадками:

1, 2, 3 – линии, определяющие бесстоковый и равномерный полив ($k_{эф.п.} = 0,73$) при оптимальном расстоянии a между насадками кругового и секторного действия

Fig. 6. Graphical justification of the distance between the nozzles

1, 2, 3 – lines determining runoff-free and uniform irrigation ($k_{эф.п.} = 0,73$) at the optimal distance a between nozzles of circular and sector actions

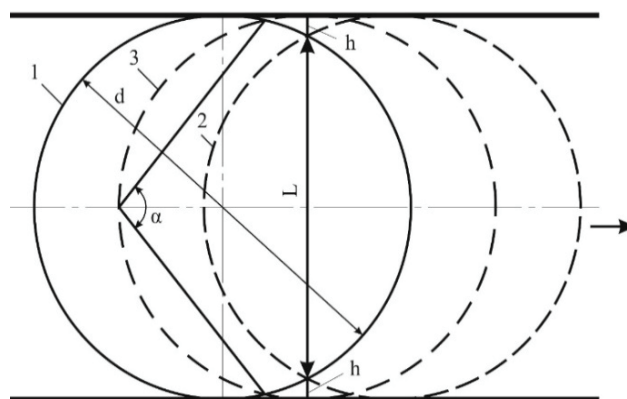


Рис. 7. Схема перекрытия дождя при смене позиции дождевателем:

1 – начальная позиция;
2 – позиция с перекрытием $0,5d$;
3 – с перекрытием $0,7d$

Fig. 7. Diagram of rain overlapping at the change of the sprinkler position

1 – initial position;
2 – position with $0.5d$ overlap;
3 – with $0.7d$ overlap

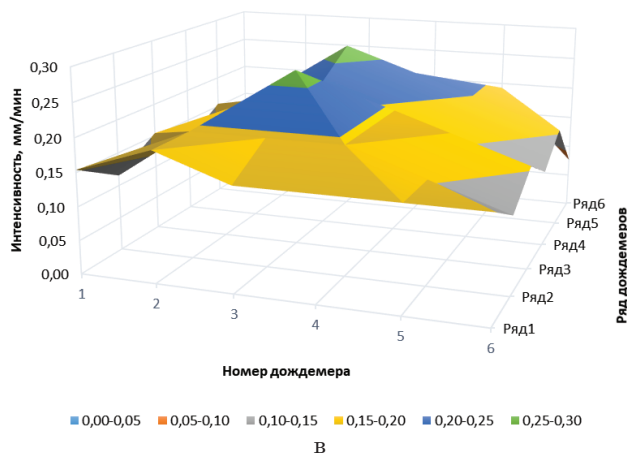
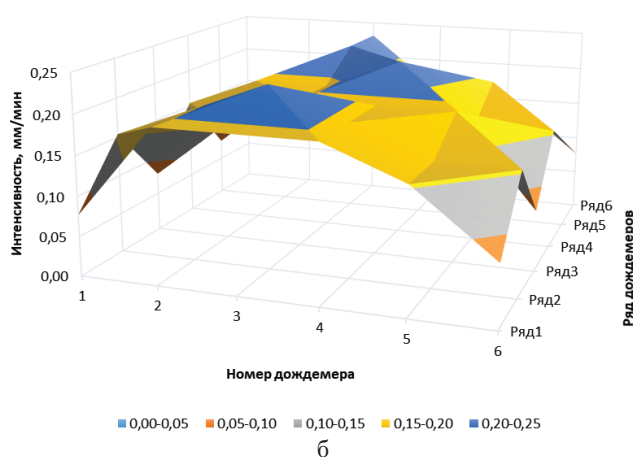
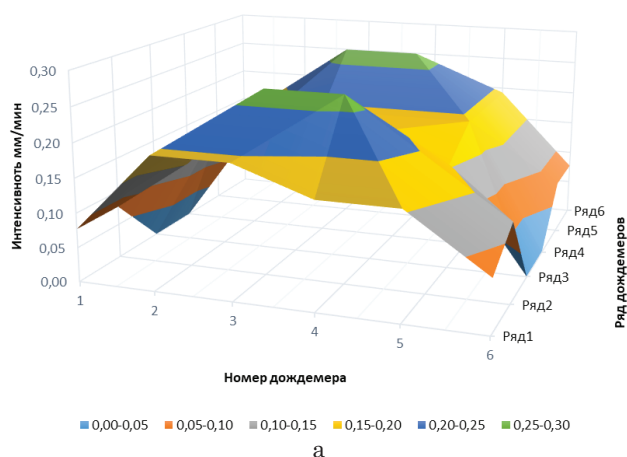


Рис. 8. Поверхностные графики распределения слоя осадков при работе дождевателя с перекрытием:

а – $0,5d$ перекрытия; б – $0,6d$ перекрытия; в – $0,7d$ перекрытия

Fig. 8. Surface graphs of the precipitation layer distribution for a sprinkler overlap operation
а – $0.5d$ overlap; б – $0.6d$ overlap; в – $0.7d$ overlap

Таблица 1. Интенсивность дождя по рядам дождемеров при перекрытии 0,5 диаметра орошаемого круга

Table 1. Intensity of rain on the rows of rain gauges at overlapping 0.5 of the diameter of the irrigated circle

	Интенсивность дождя, мм/мин					
1 ряд	0,08	0,19	0,19	0,15	0,15	0,08
2 ряд	0,08	0,15	0,27	0,27	0,19	0,12
3 ряд	0,00	0,19	0,19	0,19	0,15	0,00
4 ряд	0,00	0,15	0,19	0,19	0,19	0,00
5 ряд	0,08	0,19	0,27	0,27	0,19	0,08
6 ряд	0,08	0,15	0,19	0,19	0,19	0,08

Таблица 2. Интенсивность дождя по рядам дождемеров при перекрытии 0,6 диаметра орошаемого круга

Table 2. Intensity of rain on the rows of rain gauges at overlapping 0.6 of the diameter of the irrigated circle

	Интенсивность дождя, мм/мин					
1 ряд	0,08	0,19	0,19	0,19	0,15	0,08
2 ряд	0,15	0,19	0,23	0,19	0,15	0,15
3 ряд	0,08	0,15	0,19	0,19	0,19	0,08
4 ряд	0,15	0,19	0,19	0,23	0,15	0,15
5 ряд	0,08	0,15	0,23	0,15	0,19	0,12
6 ряд	0,12	0,15	0,23	0,15	0,15	0,08

Таблица 3. Интенсивность дождя по рядам дождемеров при перекрытии 0,7 диаметра орошаемого круга

Table 3. Intensity of rain on the rows of rain gauges at overlapping 0.7 of the diameter of the irrigated circle

	Интенсивность дождя, мм/мин					
1 ряд	0,15	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15
2 ряд	0,12	0,19	0,19	0,19	0,15	0,12
3 ряд	0,15	0,15	0,27	0,19	0,19	0,15
4 ряд	0,12	0,19	0,23	0,19	0,15	0,12
5 ряд	0,15	0,15	0,27	0,23	0,19	0,15
6 ряд	0,08	0,15	0,15	0,15	0,19	0,08

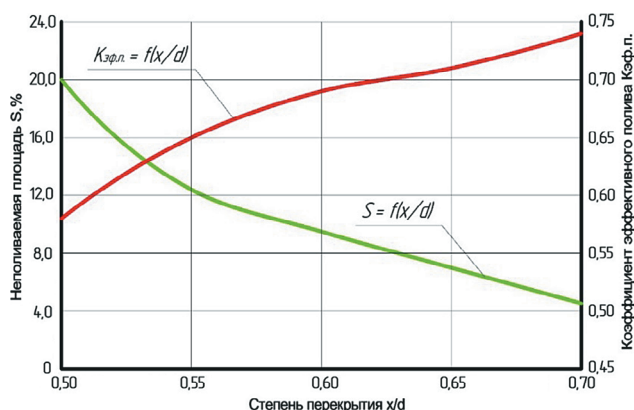


Рис. 9. Распределение дождя и неполиваемая площадь в зависимости от степени перекрытия при поливе шланговым дождевателем

Fig. 9. The distribution of rain and the non-irrigated area depends on the degree of overlap when watering with a hose sprinkler

При этом коэффициент эффективности полива возрастает от значения без перекрытия, равного 0,60, до 0,75, до значения с перекрытием 0,7d.

Выводы

Для обеспечения эффективного полива шланговым дождевателем рассады овощных культур, выращиваемых кассетным способом в закрытом грунте, необходимо:

– оснащение шлангового дождевателя концевыми дождевальными насадками кругового действия (RU189319 U1) при расстоянии между ними и насадками секторного действия, равном 80 см (RU227062 U1);

– для равномерного распределения слоя осадков дождевателем при смене позиций перекрытие дождя между ними должно быть не менее 0,7 диаметра орошаемой круговой площади.

Список использованных источников

1. Авторское свидетельство № 1804289 СССР, МПК A01G 25/09. Дождевальная установка: № 4944609: заявл. 13.06.1991: опубл. 23.03.1993 / А.Г. Никитин, А.И. Рязанцев; заявитель Всесоюзное научно-производственное объединение по механизации орошения «РАДУГА».
2. Болхоров Я.К. Механизация трудоемких процессов в защищенном грунте // В книге: Овощеводство защищенного грунта. М.: Агропромиздат, 2000. С. 57-64.
3. Ващенко С.Ф. Овощеводство защищенного грунта. 2-е изд., перераб. и доп. / С.Ф. Ващенко, З.М. Чекунова и др. М.: Колос, 1984. 341 с.
4. Гайлитис М. Выращивание рассады капусты в пленочных сооружениях // Картофель и овощи. 1973. № 4. С. 31-34.
5. Егорова Н.Н. Технология и механизация орошения выращиваемой кассетным способом в защищенном грунте рассады овощных культур: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01. Рязань, 2003. 160 с.: ил.
6. Евсеев Е.Ю. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах / Е.Ю. Евсеев, А.И. Рязанцев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 4. С. 121-127.
7. Евсеев Е.Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях // Нива Поволжья. 2023. № 2(66).
8. Рембалович Г.К. Исследование траекторий движения капель дождевальной машины / Г.К. Рембалович, А.И. Рязанцев, М.Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 4(40). С. 138-142.
9. Патент № 2672313 С2 Российская Федерация, МПК A01G 25/02. Дождевальная установка: № 2017109826: заявл. 24.03.2017: опубл. 13.11.2018 / А.И. Рязанцев, Г.В. Ольгаренко, Н.А. Мищенко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»).
10. Патент на полезную модель № 187870 U1 Российская Федерация, МПК A01G 25/09. Дождевальная установка для полива кассетной рассады в теплице: № 2018133057: заявл. 17.09.2018: опубл. 21.03.2019 / А.И. Рязанцев, В.С. Травкин, Г.К. Рембалович [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГТУ). EDN DNIXFN.
11. Патент на полезную модель № 189319 U1 Российская Федерация, МПК A01G 25/00. Дождевальная установка для теплиц: № 2018119609: заявл. 28.05.2018: опубл. 21.05.2019 / А.И. Рязанцев, В.С. Травкин, Г.К. Рембалович [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГТУ).
12. Нино Т.П. 14. РД-АПК 1. 10. 09. 01-14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады: РД-АПК 1. 10. 09. 01-14 / Виноградов П.Н. Москва: Росинформагротех, 2014. III, 103 с. (Система рекомендательных документов агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации)

References

1. Copyright certificate No. 1804289 of the USSR, IPC a01g 25/09. Sprinkler system: No. 4944609: application. 13.06.1991: published. 23.03.1993 / A.G. Nikitin, A.I. Ryazantsev; applicant All-Union Scientific and Production Association for the mechanization of production "Rainbow".
2. Bolkhorev Ya.K. Mechanization of labor-intensive processes in protected soil. In the book: Protected soil vegetable growing. Moscow: Agropromizdat, 2000. P. 57-64.
3. Vashchenko S.F., Chekunova Z.M. and others. protected soil vegetable growing. Moscow, Kolos, 1984. 341 p.
4. Gailitis M. Growing cabbage seedlings in film structures // Potatoes and vegetables. 1973. No. 4. P. 31-34.
5. Egorova N.N. technology and mechanization of growing cassettes in protected soil seedlings of vegetable crops: dissertation... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01. Ryzan, 2003. 160 p.: ill.
6. Evseev E.Y. improving the productivity of a multifunctional circular machine on slopes / E.Y. Evseev, A.I. Ryazantsev // Bulletin of the Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 4. P. 121-127.
7. Evseev E.Yu. improving the efficiency of using a multifunctional machine on sloping areas / E.Yu. Evseev // Field of the Volga region. 2023. № 2(66).
8. Investigation of the trajectories of sprinkler drops / G.K. Rembalovich, A.I. Ryazantsev, M.Yu. Kostenko [et al.] // Bulletin of the Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2018. No. 4(40). P. 138-142.
9. Patent No. 2672313 C2 of the Russian Federation, IPC A01g 25/02. Sprinkler system: No. 2017109826: application 24.03.2017: published 13.11.2018 / A.I. Ryazantsev, G.V. Olgarenko, N.A. Mishchenko [and others]; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Supply Systems "Raduga" (FSBI VNI "Raduga").
10. Utility Model Patent No. 187870 U1 Russian Federation, IPC a01g 25/09. Sprinkler system for watering cassette seedlings in a greenhouse: No. 2018133057: application 17.09.2018: published 21.03.2019 / A.I. Ryazantsev, V.S. Travkin, G.K. Rembalovich [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" (FSBEI Voalatu). EDN DNIXFN.
11. Utility Model Patent No. 189319 U1 Russian Federation, IPC a01g 25/00. Sprinkler system for greenhouses: No. 2018119609: application. 05/28/2018: published. 05/21/2019 / A.I. Ryazantsev, V.S. Travkin, G.K. Rembalovich [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" (FSBEI Voalatu).
12. Nino T.P. 14. RD-AP 1. 10. 09. 01-14. Methodological recommendations on the technological design of greenhouses and greenhouse plants for growing vegetables and seedlings: RD-APK 1. 10. 09. 01-14 / Vinogradov P.N. Moscow: Rosinformagrotech, 2014. III, 103 p. (System of recommendation documents of the agro-industrial complex of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation). // Engineering and technical support of the agro-industrial complex. Abstract Journal, 2015, No. 1, p. 14.
13. Utility Model Patent No. 211759 U1 Russian Federation, IPC a01g 25/00. Sprinkler system: No. 2022102621: application no. 02/03/2022: published 06/21/2022 / A.I. Ryazantsev,

// Инженерно-техническое обеспечение АПК // Реферативный журнал. 2015. № 1. С. 14.

13. Патент на полезную модель № 211759 U1 Российская Федерация, МПК A01G 25/00. Дождевальная установка: № 2022102621; заявл. 03.02.2022; опубл. 21.06.2022 / А.И. Рязанцев, С.С. Турапин, Ж.К. Леонова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного снабжения «Радуга».

14. 277. СТО АИСТ 11. 1-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. машины и установки дождевальные. методы оценки функциональных показателей: 2012. 54 С. (Стандарт организации). Шифр *РОСИНФОРМАГРОТЕХ

15. Рекомендации по применению низконапорного дождевателя для орошения рассады овощных культур: методические рекомендации / Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев, А.И. Рязанцев, Г.К. Рембалович, Л.Н. Лазуткина, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк [и др.]. Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2018. 30 с.

16. Рязанцев А.И. Дождевальная система для полива кассетной рассады овощных культур в закрытом грунте / А.И. Рязанцев, Н.Н. Егорова, Н.Я. Кириленко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 3. С. 48-51.

17. Рязанцев А.И. Механизация полива овощных культур в защищенном грунте: учебное пособие / А.И. Рязанцев, Н.Н. Егорова. Коломна: 2007. 143 с. ISBN 978-5-91205-010-7.

Об авторах

Анатолий Иванович Рязанцев, д-р техн. наук, профессор; главный научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием; ORCID: 0000-0002-9829-8196; РИНЦ ID: 425594; ryazantsev.41@mail.ru

Владислав Сергеевич Травкин, аспирант отдела мелиорации; младший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института ирригации и систем сельскохозяйственного снабжения «Радуга»; vlad.travkin.1992@mail.ru

Евгений Юрьевич Евсеев, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов, ORCID: 0000-0002-6133-2661; РИНЦ ID: 976796; WOS Research ID: KQU-9843-2024; evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Ольга Вячеславовна Ануфриева, доцент, доцент кафедры музыки и изобразительного искусства, ORCID: 0009-0008-9689-8949; РИНЦ ID: 787106; anufrieva.7@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Рязанцев А.И., Травкин В.С., Евсеев Е.Ю., Ануфриева О.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

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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 17.06.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.01.2025

Принята к публикации / Accepted for 21.01.2025

S.S. Turapin, Zh.K. Leonova [et al.]; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga".

14. Sprinkler machines and installations. Methods for assessing the functional indicators of SRT aist 11.12010. 56 p.

15. Recommendations on the use of a low-pressure sprinkler for irrigation of vegetable seedlings: methodological recommendations / N.V. Byshov, S.N. Borychev, A.I. Ryazantsev, G.K. Rembalovich, L.N. Lazutkina M.Yu. Kostenko, R.V. Beznosyuk [et al.]. Ryazan: FSBEI voyazatu, 2018. 30 p.

16. Ryazantsev A.I.. sprinkler system for irrigation of cassette seedlings of vegetable crops in closed ground / A.I. Ryazantsev, N.N. Egorova, N.Ya. Kirilenko // Bulletin of Saratov State Agrarian University named after I. Vavilov. 2013. No. 3. P. 48-51.

17. Ryazantsev A.I. Mechanization of irrigation of vegetable crops in protected ground: a textbook for students of agricultural universities and students of educational institutions of additional professional education studying under the curriculum "land reclamation, reclamation and protection of land" / A.I. Ryazantsev, N.N. Egorova. Kolomna, 2007. 143 p. ISBN 978-5-91205-010-7.

About the authors

Anatoly I. Ryazantsev, DSc (Eng), Professor; Chief Researcher of the Sprinkler Irrigation Systems; ORCID: 0000-0002-9829-8196; RSCI ID: 425594; ryazantsev.41@mail.ru

Vladislav S. Travkin, p Vladislav S. Travkin, postgraduate student of the Department of Land Reclamation; Junior Research Fellow; All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Supply Systems "Raduga"; vlad.travkin.1992@mail.ru

Evgeny Yu. Evseev, CSc (Eng), Senior Lecturer at the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes, State University of Higher Education, State University of Social Sciences and Humanities, ORCID: 0000-0002-6133-2661; RSCI ID: 976796; WOS Research ID: KQU-9843-2024; evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Olga V. Anufrieva, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Music and Fine Arts, State University of Higher Education, State University of Social Sciences and Humanities, ORCID: 0009-0008-9689-8949; RSCI ID: 787106; anufrieva.7@mail.ru

Ryazantsev A.I., Travkin V.S., Evseev E.Yu., Anufrieva O.V. 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/10.26897/1997-6011-2025-2-33-42>
УДК 631.6.02:556.3(470.61)



ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПОЧВЫ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ В ЗОНЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

С.А. Манжина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации; 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, Баклановский пр-кт, 190, Россия

Аннотация. Целью исследований является определение динамики солевого состава почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области в зоне влияния мелиоративных систем и причин его возникновения. В качестве материалов для исследований использовались данные отчетов, научных публикаций российских ученых, а также пробы коллекторно-дренажных вод и почв (последние отобраны в зоне действия мелиоративных систем Ростовской области). Несмотря на то, что орошаемые земли области в большинстве своем находятся в хорошем состоянии, вызывает озабоченность то, что в процессе орошения регистрируется повышение уровня грунтовых вод, особенно имеющих повышенную минерализацию, и это может привести к вторичному засолению плодородных земель. В настоящее время в области примерно 19% площади сельскохозяйственных угодий имеют УГВ 0-2 м, менее половины (44,25%) имеют благоприятные показатели по залеганию грунтовых вод – более 3 м. Ситуация усугубляется тем, что 1/4 земель области орошается водой с минерализацией более 1 г/дм³. Использование водных объектов с неблагоприятным солевым составом для подачи воды на орошение сельскохозяйственных культур имеет побочные неблагоприятные эффекты для почв. Последние требуют особого внимания, так как создается риск их вторичного засоления и утраты исходного плодородия. В работе приведены обобщенные данные российских ученых и ретроспективный анализ, а также данные исследований автора по изменению показателей солеобразующих ионов в орошаемых почвах Ростовской области. Полученные данные указывают на повышенное содержание солеобразующих ионов в подземных и поверхностных водах, что может создавать угрозу вторичного засоления и осолонцевания сельскохозяйственных земель, и в первую очередь – расположенных в зоне действия мелиоративных систем. Исследования показывают, что содержание натрия в орошаемых почвах по сравнению с аналогичными неполивными имеет более высокие, а содержание кальция – более низкие показатели.

Ключевые слова: орошаемое земледелие, мелиоративные системы, вторичное засоление земель, осолонцевание, минерализация подземных вод, качество поливной воды

Формат цитирования: Манжина С.А. Влияние минерализации поверхностных и подземных вод Ростовской области на почвы, расположенные в зоне орошаемого земледелия // Природообустройство. 2025. № 2. С. 33-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-33-42>

Original article

THE EFFECT OF MINERALIZATION OF SURFACE AND GROUNDWATER IN THE ROSTOV REGION ON SOILS LOCATED IN THE ZONE OF IRRIGATED AGRICULTURE

S.A. Manzhina

Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, 190 Baklanovsky Prospekt, Novocherkassk, Rostov region, 346421. Russia

Abstract. The purpose of the study is to determine the dynamics of the salt composition of soils of agricultural lands of the Rostov region in the zone of influence of reclamation systems and the causes of its occurrence. **Materials and methods.** Data from reports, scientific research by Russian scientists, as well as samples of collector-drainage waters and soils (the latter were selected in the area of reclamation systems of the Rostov region) were used as research materials. **Results.** Despite the fact that the irrigated lands of the region are mostly in good condition, it is of concern that during the irrigation process, an increase in the groundwater level is recorded, especially those with increased mineralization, which can lead to secondary salinization of fertile lands. Currently, about 19% of the agricultural land area in the region

has a groundwater level of 0-2 m, less than half (44.25%) have favorable indicators for groundwater occurrence – more than 3 m. The use of water bodies with an unfavorable salt composition to supply water for irrigation of agricultural crops also has an adverse effect on the soil. According to the data, a quarter of the region's lands are irrigated with water with a mineralization of more than 1 g/dm³. The latter require special attention, as there is a risk of their secondary salinization and loss of initial fertility. The paper presents generalized data of Russian scientists and a retrospective analysis, as well as data from the author's research on changes in salt-forming ions in irrigated soils of the Rostov region. **Conclusions.** The data obtained indicate an increased content of salt-forming ions in groundwater and surface waters, which may pose a threat of secondary salinization of agricultural lands, and primarily located in the area of reclamation systems. Studies show that the sodium content in irrigated soils at the beginning of the irrigation period has higher values compared to similar non-irrigated ones, and the calcium content is lower.

Keywords: irrigated agriculture, reclamation systems, secondary salinization of lands, mineralization of groundwater, irrigation water quality

Format of citation: Manzhina S.A. The effect of mineralization of surface and groundwater in the Rostov region on soils located in the zone of irrigated agriculture // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 33-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-33-42>

Введение. Ростовская область занимает второе место по количеству сельхозугодий в ЮФО и имеет наибольшую территорию, выделенную под пашню (табл. 1) [1].

При этом значительная часть угодий находится в зоне с недостаточным увлажнением: испарение воды за вегетационный период превышает осадки в 2,5-4 раза [1]. Тем не менее теплый климат и наличие ценных почвенных ресурсов, которые на 70,1% представлены черноземами (включая темно-каштановые почвы, получившие в последней классификации статус типа черноземы текстурно-карбонатные) [2], делает область особенно привлекательной для растениеводства. В условиях прогнозируемого потепления климата и роста

социально-экономического давления на экосистему области ожидается усугубление дефицита водных ресурсов [3-5], что, несомненно, отразится и на орошаемом земледелии.

При всех положительных аспектах ирригации следует учитывать, что изменение природного (естественного) водного режима территории влияет на состояние сельскохозяйственных земель и почвообразовательные процессы. При орошении происходит выщелачивание легкорастворимых солей, вымывание нитратной формы азота из ризосферы, изменение высоты капиллярной каймы. Последний фактор приводит к миграции солей от грунтовых вод в почвенный массив и усилению его деградации. В связи с перечисленным орошаемые земли, возможно,

Таблица 1. Обеспеченность пахотными землями субъектов ЮФО
Table 1. Provision of arable land in the subjects of the Southern Federal District

Субъект ЮФО <i>Subject of the Southern Federal District</i>	Площадь земель, тыс. га <i>Land area, ths ha</i>		Доля, % <i>Share, %</i>		
	Сельхозугодий <i>Farmland</i>	Пахотных <i>Arable</i>	Сельскохозяйственной освоенной территории <i>Of the agricultural developed territory</i>	Распаханность <i>Ploughing</i>	Распаханность сельхозугодий <i>Ploughed farmland</i>
Республика Адыгея / <i>Republic of Adygea</i>	301,90	260	46,2	33,3	72,2
Республика Калмыкия / <i>Republic of Kalmykia</i>	5975,14	830	84,5	11,1	13,2
Республика Крым / <i>Republic of Crimea</i>	1572,41	1270	68,8	48,8	70,9
Краснодарский край / <i>Krasnodar territory</i>	4402,73	3980	62,3	52,8	84,7
Астраханская область / <i>Astrakhan region</i>	2515,85	350	61,5	6,7	10,8
Волгоградская область / <i>Volgograd territory</i>	8490,99	5860	77,6	51,9	66,8
Ростовская область / <i>Rostov territory</i>	8176,51	5820,6	84,2	60,0	70,0
г. Севастополь / <i>c. Sevastopol</i>	12,57	12,0	3,2	13,3	43,9
Всего / <i>Total</i>	31448,1	17829,4		56,7	

Примечание. По данным Росреестра и Росстата.

Note: according to Rosreestr and Rosstat

более, чем богарные, требуют постоянного мониторинга их плодородия.

Цель исследований: определение динамики солевого состава почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области в зоне влияния мелиоративных систем и причин его возникновения.

Для достижения обозначенной цели поставлены следующие задачи:

- изучение изменения солевого состава вод после их использования на оросительных системах Семикаракорского района Ростовской области;

- изучение изменения солевого состава орошаемых и неорошаемых пахотных почв, находящихся в зоне действия коллекторов, обустроенных в открытом земляном русле, на оросительных системах Семикаракорского района Ростовской области.

Новизна научных исследований определяется тем, что проведенные полевые обследования позволили зафиксировать повышенное содержание солеобразующих ионов – таких, как сульфат-ионы и катионы натрия, которые поступают в почвы как за счет природных гидрогеохимических процессов и в результате увеличения скорости гидрогеохимического обмена при осуществлении консервации угледобывающих шахт региона, так и при сельскохозяйственном освоении земель на фоне гидромелиорации.

Полученные результаты позволят решить практическую задачу, связанную с разработкой мероприятий по ликвидации причин ухудшения солевого состава почв земель сельскохозяйственного назначения.

Материалы и методы исследований. В качестве материалов для исследований использовались данные архивных отчетов ФГБНУ «РосНИИПМ», протоколы испытаний Ростовской гидрогеолого-мелиоративной партии, филиала ФГБУ «Управления «Ростовмелиоводхоз», химической лаборатории Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» и публикации российских ученых.

При проведении исследований применялись методы статистического анализа, обобщения и оценки полученных данных.

Результаты и их обсуждение. В целом большая часть орошаемых земель мелиоративного фонда Ростовской области находится в хорошем состоянии, в неудовлетворительном состоянии находятся около 17% орошаемых земель [6-10]. Неудовлетворительное их состояние

определяется основными показателями – такими, как глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), минерализация грунтовых вод, полив оросительной водой неблагоприятного состава (с минерализацией более 1 г/дм³), засоление, осолонцевание. Повышение УГВ нередко связано с большими потерями на фильтрацию воды, подаваемой по каналам в земляном русле, которые обслуживают 40% территории орошаемых земель Ростовской области, а также с недостаточной обеспеченностью земель коллекторно-дренажной сетью или ее полным отсутствием. Так, в бассейне р. Западный Маныч до начала орошения в 1952 г. порядка 82% площади сельскохозяйственных земель имели УГВ 4-6 м, и всего 1% – 0-2 м, но уже в 1973 г. площадь последних составила 27,4%, а в начале 2000-х гг., на фоне возделывания риса, – 79,2% [11]. В настоящее время в области примерно 19% площади сельскохозяйственных угодий имеют УГВ 0-2 м, менее половины (44,25%) имеют благоприятные показатели по залеганию грунтовых вод – более 3 м [12]. Помимо этого, гидрогеохимический фактор является решающим в перераспределении солей между слоями литосферы и педосферы посредством грунтовых и поверхностных вод. Например, долина р. Маныч, которая расположена в западной части Манычской впадины, в геологическом прошлом была приурочена ко дну морского пролива, соединявшего Черное и Каспийское моря [13], что обуславливает обилие растворимых солей в материнских породах, представленных верхнечетвертичными морскими отложениями, и последнее послужило источником сильной минерализации водоемов. В условиях недостаточного увлажнения долины Западного Маныча, для обеспечения бесперебойной подачи воды на сельскохозяйственные поля, в 50-60-е гг. в результате строительства оросительных систем произведено зарегулирование местного стока посредством создания на реке двух гидравлически связанных водохранилищ: Пролетарского и Весёловского. Последнее используется в качестве источника орошения.

С целью улучшения качества вод в водохранилища поставляют слабоминерализованную воду из реки Дон через Донской магистральный канал (ДМК). В соответствии с «Временными правилами эксплуатации Пролетарского, Весёловского и Усть-Манычского водохранилищ»¹ подача воды из р. Дон (Цимлянское водохранилище)

¹ Временные правила эксплуатации Пролетарского, Весёловского и Усть-Манычского водохранилищ / Южгипроводхоз. Ростов-на-Дону, 1992. 67 с.

в р. Западный Маныч с целью снижения минерализации воды в Манычских водохранилищах должна обеспечиваться в объемах не менее 307,0 млн м³. В Пролетарское водохранилище по руслу реки Большой Егорлык поступает кубанская вода [14, 15], а в Весёловское водохранилище дополнительно отводятся возвратные воды с рисовых полей Пролетарской мелиоративной системы. Тем не менее вода в водохранилищах имеет высокую минерализацию. Так, содержание солей в воде Весёловского водохранилища, забираемой на орошение, колеблется в пределах 1,2-2,4 г/дм³ в зависимости от сезона и места расположения контрольного створа [14, 16, 17]. Из анионов преобладает сульфат-ион, из катионов – суммарно ионы натрия и калия (рис. 1).

Использование водных объектов с неблагоприятным солевым составом для подачи воды на орошение сельскохозяйственных культур оказывает неблагоприятное воздействие на почву [18]. Согласно данным [12] на долю земель, орошаемых водой с минерализацией более 1 г/дм³ в Ростовской области, приходится около 25%. Последние требуют особого внимания, так как создается риск их вторичного засоления и утраты исходного плодородия. Так, орошение в течение более 10 лет исходно незасоленных черноземов обыкновенных ЗАО «Красный Октябрь» (Весёловский район, Ростовская область) водой неблагоприятного состава привело к возникновению вторичного засоления почв [19].

Существенное влияние на показатели водных объектов территории области оказывает и антропогенная деятельность. По данным отчетов

Гидрохимического института, вода в реке Дон при протекании по территории области от пункта наблюдения с. Жуковское и г. Волгодонск и далее по руслу к пункту наблюдения, г. Ростов-на-Дону, значительно меняет свои химические показатели в сторону увеличения содержания таких веществ, как сульфаты (1,07-2ПДК), нитратный азот (до 2ПДК), нитриты (1,47ПДК), медь (1,75ПДК), марганец (1,14ПДК) и нефтепродукты (2-3ПДК)² [20, 21].

Понятно, что сульфаты «доставляются» в р. Дон с водой притоков и с грунтовыми водами, которые имеют выраженную зональную дифференциацию качественного состава и в большинстве своем содержат этот ион. Так, по данным экологических наблюдений за 2022 г., качество подземных вод, расположенных в пределах территории Ростовской области, характеризуется повышенной минерализацией (до 3,5ПДК), жесткостью (до 3,14ПДК), повышенным содержанием солеобразующих ионов – таких, как сульфаты (до 2,2ПДК) и хлориды (до 2,4ПДК) [20]. Дополнительным источником высокого количества солеобразующих ионов в грунтовых и поверхностных водах области являются шахтные воды Восточного Донбасса, в которых содержание хлоридов превышает 2000 мг/л, содержание сульфатов приближается к 3000 мг/л, количество взвешенных веществ колеблется в пределах 150-7300 мг/л.

С ликвидируемых шахт Ростовской области в водные объекты бассейна Дона в 2013 г. поступило более 39 млн м³ высокоминерализованной шахтной воды, что вызвало увеличение

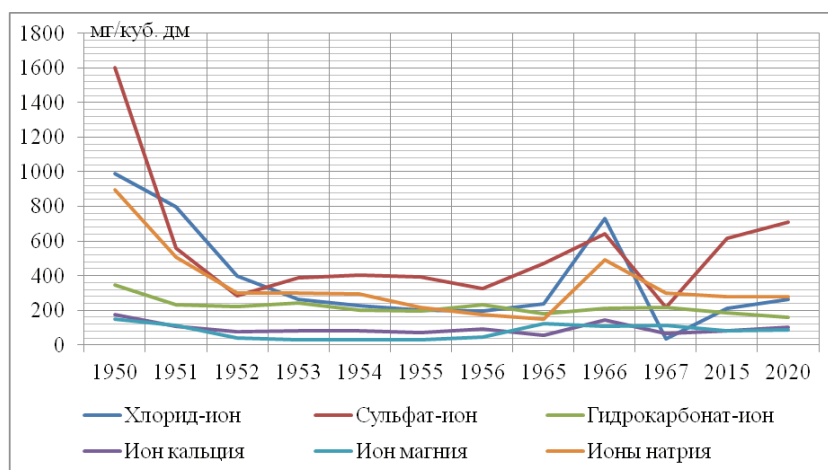


Рис. 1. Динамика солевого состава Весёловского водохранилища²

Fig. 1. Dynamics of the salt composition of the Vesvolovskoye reservoir

² По данным [14, 16], архивов ЮжНИИГиМ и ФГБУ «Управление „Ростовмелиоводхоз“».

³ ГИС: качество поверхностных вод Российской Федерации / Гидрохимический институт. URL: <http://gidrohim.com/node/61> (дата обращения: 24.02.2021).

солености поверхностных вод в 2-3 раза, содержание в них взвешенных частиц выросло в 5-10 раз, сульфатов – в 9 раз и т.д. [22].

Усиленный геохимический обмен сказывается и на солевом составе грунтовых вод. Так, в грунтовых водах Семикаракорского района Ростовской области, по данным А.М. Никанорова и др. (2015), отмечается высокое содержание сульфатов, гидрокарбонатов, хлоридов и натрия (табл. 2) [23].

Оборот солей при подаче оросительных вод хорошо определяется в зоне действия оросительных систем, оснащенных коллекторно-дренажной сетью. Так, по Багаевской ОС в распределительную сеть Семикаракорского района Ростовской области через Донской магистральный канал (далее – ДМК), осуществляющий водозабор из Цимлянского водохранилища, поступает неминерализованная донская вода, а дренажные воды, отводимые через коллекторно-дренажную систему в водоприемник, уже представляют собой смесь просочившихся поливных и грунтовых вод, в результате чего имеют повышенную минерализацию (рис. 2).

Проходя по земляному руслу отводных каналов, такие воды являются источником распространения солей, что подтверждается данными химического состава почв, отобранных в зоне действия коллекторов (рис. 3, 4).

Оценивая тенденцию осолонцевания почв, необходимо наблюдать соотношение содержания катионов – критичным является содержание ионов натрия более 15% от суммы катионов. Полученные данные по солевому составу почв Семикаракорского района, расположенных в зоне влияния коллекторов оросительных систем [24], указывают на тенденцию их осолонцевания, причем на орошаемых массивах этот процесс протекает с большей скоростью, чем на богаре (рис. 3, 4).

На рисунках 3, 4 нечетные образцы показывают почвы, используемые без орошения, но находящиеся в зоне гидравлического действия коллекторов оросительных систем, а четные образцы означают орошаемые почвы.

Исследования показали, что все почвы, находящиеся в зоне действия коллекторов, имеют тенденцию осолонцевания, причем на конец орошаемого периода наблюдается всеобщее увеличение ионов натрия и уменьшение ионов кальция

Таблица 2. Минерализация и ионный состав грунтовых вод в г. Семикаракорске и на прилегающей территории

Table 2. Mineralization and ionic composition of groundwater in the city of Semikarakorsk and in the surrounding area

Минерализация <i>Mineralization</i>	Ионный состав, мг/дм ³ / <i>Ionic composition, mg / dm³</i>							Жесткость, мг-экв/дм ³ <i>Hardness, mg-eq / dm³</i>	pH	CH ₄ , мкл/л <i>CH₄, µl/l</i>
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻			
1,11-3,35	32-432	46-325	108-613	<1-32	393-1793	213-1136	97-814	14,6-27,0	6,88-8,27	<0,1-106,0

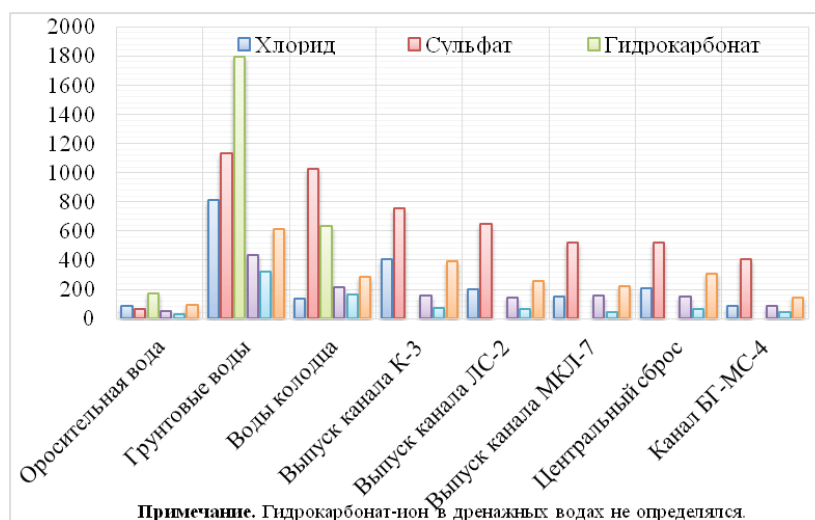


Рис. 2. Изменение состава вод после их использования на оросительных системах Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление „Ростовмелиоводхоз“»

Fig. 2. Changes in the composition of water after their use in the irrigation systems of the Semikarakorsk branch of the Federal State Budgetary Institution “Rostovmeliiovodkhoz Administration”

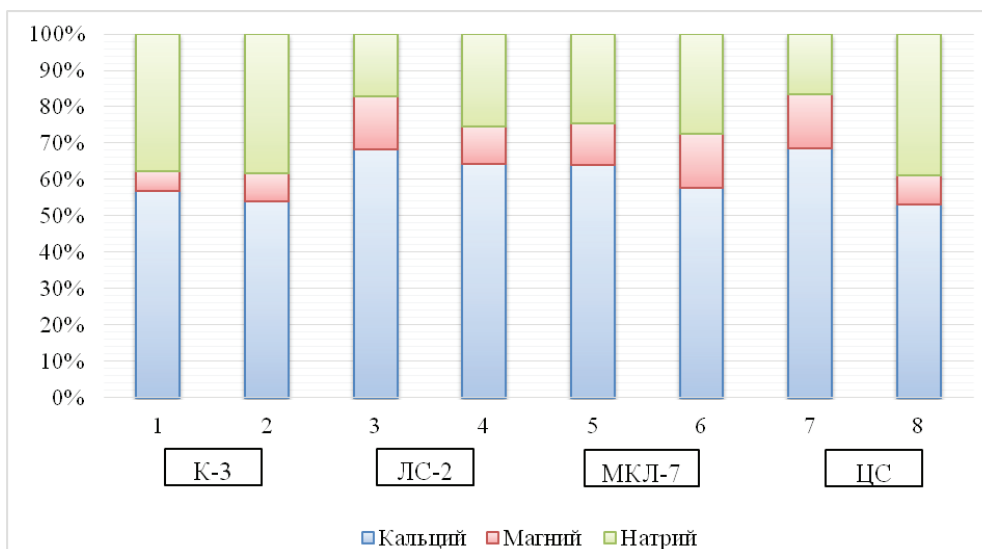


Рис. 3. Соотношение катионов в почвах на начало поливного периода

Fig. 3. Ratio of cations in soils at the beginning of the irrigation period

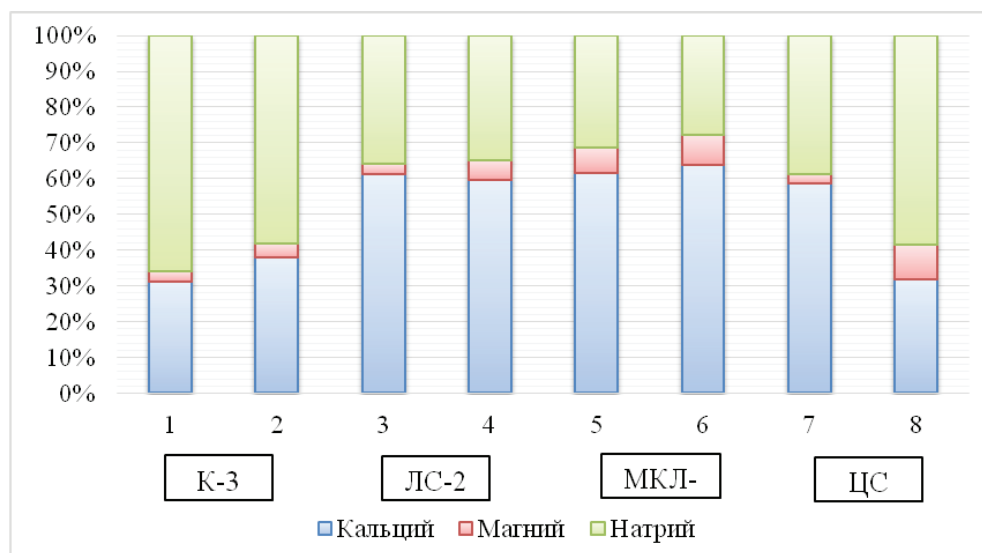


Рис. 4. Соотношение катионов в почвах на конец поливного периода

Fig. 4. Ratio of cations in soils at the end of the irrigation period

в исследуемых почвах. Общее содержание солей на конец поливного периода увеличивается во всех пробах почв по сравнению с состоянием до его начала.

Учитывая, что практически все поверхностные и часть подземных вод региона используются для орошения сельскохозяйственных культур, многие из которых имеют повышенную минерализацию, можно прогнозировать их негативное влияние на орошаемые почвы. В качестве подтверждения выступает тот факт, что на Миусской оросительной системе (ФГБУ «Управление „Ростовмелиоводхоз“»), по которой осуществляется подача воды из Миусского лимана (вода сульфатно-натриевого состава с минерализацией 1,2-1,5 г/л), черноземы обыкновенные,

орошаемые в течение более 30 лет, приобрели солонцеватость с содержанием в пахотном слое 8-10% поглощенного натрия [25].

Черноземы обыкновенные в районе действия Багаевско-Садковской оросительной системы, орошаемые в течение более 50 лет водой I группы по ирригационному коэффициенту с нормальной минерализацией, содержат поглощенный натрий до 1-3%, что является значительно лучшими показателями в сравнении с почвами Семикаракорского района и Миусской оросительной системы. Тем не менее содержание поглощенного кальция в них находится на уровне 65-75% от суммы ППК, что, по мнению ряда авторов [26], также является неблагоприятным для протекания нормальных почвенных процессов.

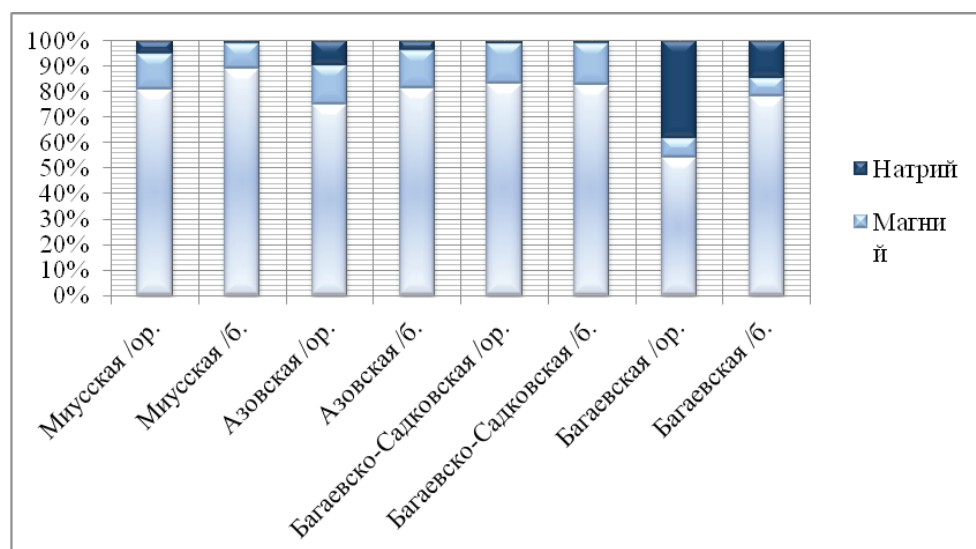


Рис. 5. Соотношение катионов, %, в составе почв, используемых на богаре (б.) и на орошении (ор.) по различным оросительным системам Ростовской области⁴

Fig. 5. Ratio of cations (in %) in the composition of soils used on dry land (б.) and on irrigation (ir.) in various irrigation systems of the Rostov region

Анализ обобщенных данных о почвах Ростовской области показывает, что в орошаемых почвах регистрируется большее содержание натрия по сравнению с аналогичными на богаре (рис. 5). При этом отбор проб осуществлялся с соседних по расположению участков.

На ряде оросительных систем области (Азовская, Багаевско-Садковская и др.) в орошение были вовлечены бессточные в геоморфологическом отношении территории с площадями засоленных почв включая солонцовые комплексы с солончаковыми и солончаковатыми безгипсовыми и глубокогипсовыми солонцами, которые в условиях орошения являлись причиной вторичного засоления черноземов за счет перераспределения солей ирригационными и грунтовыми водами. В результате этого в почвах развивались процессы ощелачивания и осолонцевания [24-27].

Несмотря на отмеченные проблемы, определяющим фактором является то, что урожайность сельскохозяйственных культур (например, овощные, картофель, ягодные) в условиях степей и полупустынной зоны Ростовской области напрямую зависит от орошения. Без орошения юго-восток Ростовской области подвержен процессу опустынивания [27]. Противоречия, обусловленные такой ситуацией, можно разрешить за счет осуществления на постоянной основе наблюдений за изменением состояния сельскохозяйственных угодий и проведения

компенсирующих мероприятий, которые позволят не только замедлить деградацию почв, но и обратить ее вспять.

Выводы

В Ростовской области отмечается повышенное содержание солеобразующих ионов в подземных и поверхностных водах. Наибольшая доля приходится на сульфат-ион и натрий. Данный фактор обусловлен как естественными гидрогеохимическими процессами, протекающими в литосфере, так и антропогенным фактором.

Основную озабоченность в этом плане вызывает угроза вторичного засоления сельскохозяйственных земель, и в первую очередь – расположенных в зоне действия мелиоративных систем. Исследования показывают, что содержание натрия в орошаемых почвах на начало поливного периода по сравнению с аналогичными неполивными имеет более высокие, а содержание кальция – более низкие показатели. На конец поливного периода эти показатели не имеют устойчивой дифференциации между орошаемыми и неорошаемыми почвами, находящимися в зоне влияния мелиоративных систем. Последнее можно объяснить как влиянием минерализованных подземных вод, поступающих по капиллярам, так и переносом солей с коллекторно-дренажными водами. Выявленная тенденция повышает риски осолонцевания почв и их вторичного засоления.

⁴ Построено автором на основании среднестатистических обобщения данных собственных исследований.

Список использованных источников

1. Калинин А.А. Мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области и эффективности их использования / А.А. Калинин, Н.В. Пономаренко, Ж.В. Матвейкина // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 79-86. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-1-79-86.
2. Безуглова О.С. Современное состояние чернозёмов Ростовской области и проблемы мониторинга // Сборник научных трудов ГНБС. 2019. Том 148. С. 34-41. DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.03.
3. Георгиади А.Г. Современные и сценарные изменения стока Волги и Дона / А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милукова, Е.А. Барабанова, Е.А. Кашутина // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 3, 2017 г. С 7-22. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-3-1.
4. Георгиади А.Г. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. Монография. / А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милукова, Е.А. Кашутина, Е.А. Барабанова. М.: Изд-во «Макс Пресс», 2014. 214 с. ISBN 978-5-317-04737-5.
5. Лысоченко А.А. Экологическая безопасность региона: стратегическое планирование и развитие // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. ISSN 1999-2645. № 3 (71). Номер статьи: 7114. Дата публикации: 22.09.2022. URL: <https://eee-region.ru/article/7114/>. DOI: 10.24412/1999-2645-2022-371-14.
6. Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013-2020 гг.): в 3-х ч. Ч. 1 / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области. Ростов н/Д, 2012. [Электронный ресурс] URL: http://don-agro.ru/FILES/2020/ZONSYSEM/Sistema_zemled_do_2020_1.docx.
7. Калинин А.А. Мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области и эффективности их использования / А.А. Калинин, Н.В. Пономаренко, Ж.В. Матвейкина // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 79-86. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-1-79-86.
8. Ильинская И.Н. Состояние и оценка мелиорированных земель Ростовской области / И.Н. Ильинская, А.И. Клименко, И.В. Батищев // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 86-103. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-86-103>
9. Безуглова О.С. Динамика деградации земель в Ростовской области / О.С. Безуглова, О.Г. Назаренко, И.Н. Ильинская // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 10-15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090. EDN: KWOAHB.
10. Зональные системы земледелия в Ростовской области на 2022-2026 гг. Монография / Колл. автор. по заказу министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области. Ростов н/Д: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (пос. Рассвет). 2022. 736 с. EDN: GHQGWS.
11. Костылев П.И. Северный рис (генетика, селекция, технология) / П.И. Костылев, А.А. Парфенок, В.И. Степовой. Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2004. 576 с. ISBN 5-87259-262-0. EDN: VDWSTV.
12. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: словарь или справочник / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин, В.И. Булгаков, Т.А. Капустина и др. М.:

References

1. Kalinin A.A. Monitoring the condition of agricultural lands in the Rostov region and the effectiveness of their use / A.A. Kalinin, N.V. Ponomarenko, Zh.V. Matveikina // Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Natural sciences. 2023. No. 1. P. 79-86. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-1-79-86.
2. Bezuglova O.S. The current state of chernozems in the Rostov region and monitoring problems // Collection of scientific papers of the SSC. 2019. Volume 148. P. 34-41. DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.03.
3. Georgiadi A.G. Modern and scenario changes in the flow of the Volga and Don / A.G. Georgiadi, N.I. Koronkevich, I.P. Milyukova, E.A. Barabanova, E.A. Kashutina // Russian water economy: problems, technologies, management. No. 3, 2017, P. 7-22. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-3-1.
4. Georgiadi A.G. Modern and scenario changes in river flow in the basins of the largest rivers of Russia. Part 2. Basins of the Volga and Don rivers. Monograph. / A.G. Georgiadi, N.I. Koronkevich, I.P. Milyukova, E.A. Kashutina, E.A. Barabanova. Moscow: Publishing house "Maks Press", 2014. 214 p. ISBN 978-5-317-04737-5.
5. Lyschenko A.A. Environmental safety of the region: strategic planning and development // Regional economics and management: electronic scientific journal. ISSN 1999-2645. No 3 (71). Article number: 7114. Date of publication: 09/22/2022. URL: <https://eee-region.ru/article/7114/>. DOI: 10.24412/1999-2645-2022-371-14.
6. Zonal farming systems of the Rostov region (for the period 2013-2020): in 3 parts, Part 1 / Ministry of Agriculture and Food of the Rostov Region. Rostov n/D, 2012. [Electronic resource] URL: http://donagro.ru/FILES/2020/ZONSYSEM/Sistema_zemled_do_2020_1.docx.
7. Kalinin A.A. Monitoring the condition of agricultural lands in the Rostov region and the effectiveness of their use / A.A. Kalinin, N.V. Ponomarenko, Zh.V. Matveikina // Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Natural sciences. 2023. No. 1. P. 79-86. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-1-79-86.
8. Ilyinskaya I.N. Condition and assessment of reclaimed lands of the Rostov region / I.N. Ilyinskaya, A.I. Klimenko, I.V. Batishchev // Land reclamation and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12, No. 4. P. 86-103. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-86-103>
9. Bezuglova O.S. Dynamics of land degradation in the Rostov region / O.S. Bezuglova, O.G. Nazarenko, I.N. Ilyinskaya // Arid ecosystems. 2020. Vol. 26. No. 2 (83). P. 10-15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090. EDN: KWOAHB.
10. Zonal farming systems in the Rostov region for 2022-2026. Mono-graphy / Coll. author. commissioned by the Ministry of Agriculture and Food of the Rostov region. Rostov n/D: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Rostov Agrarian Scientific Center" (village of Rassvet). 2022. 736 p. EDN: GHQGWS.
11. Kostylev P.I. Northern rice (genetics, breeding, technology) / P.I. Kostylev, A.A. Parfenok, V.I. Stepovoy. Rostov n/D: ZAO "Kniga", 2004. 576 p. ISBN 5-87259-262-0 EDN: VDWSTV.
12. The meliorative complex of the Russian Federation: a dictionary or reference book / G.V. Olgarenko, S.S. Turapin, V.I. Bulgakov, T.A. Kapustina et al. Moscow: Rosinformagrotech, 2020. 304 p. EDN: AVWQXO. ISBN: 978-5-7367-1593-0

Росинформагротех, 2020. 304 с. EDN: AVWQXO. ISBN: 978-5-7367-1593-0

13. Мониторинг природных экосистем долины Маньча: Труды ФГУ «Государственный природный заповедник „Ростовский“». Вып. 4. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2010. 216 с.

14. Коханистая Е.В. Современный уровень солевого загрязнения Пролетарского и Весёловского водохранилищ / Е.В. Коханистая, Т.А. Хоружая // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 2, 2015. С. 88-92. EDN: TXJFRL.

15. Степаньян О.В. Современное состояние биоты водоёмов Кума-Маньчской впадины: Усть-Маньчско-го, Всёловского, Пролетарского и Чограйского водохранилищ (обзор) / О.В. Степаньян, А.В. Старцев // Аридные экосистемы, 2014, Т. 20, № 2(59). С. 56-69. DOI: 10.13140/RG.2.1.1326.7369

16. Круглова В.М. Весёловское водохранилище. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1962. 115 с.

17. Клещенко А.В., Гидрометеорологические и гидролого-гидрохимические условия восточной части Пролетарского водохранилища и водоёмов долины Маньча в современный период / А.В. Клещенко, В.Г. Соьер, Е.Г. Алешина, и др. // Труды ЮНЦ РАН. Том VII. 2018. С. 38-56. DOI 10.23885/1993-6621-2018-7-38-56.

18. Новикова А.Ф. Мелиоративное состояние орошаемых земель Ростовской области // Почвоведение, 2008, № 5. С. 599-613.

19. Сквепен А.Н. Многолетняя динамика свойств чернозёмов обыкновенных в условиях орошения / А.Н. Сквепен, В.П. Калининченко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение, 2006, № 11. С. 94-100.

20. Манжина С.А. Формирование системы наблюдений за водными объектами в зонах влияния сельскохозяйственного производства (на примере Ростовской области) / XVI Международный научно-практический симпозиум и выставка «Чистая вода России-2021» 17-20 мая 2021 года. Екатеринбург: ООО «ДжиЛайм», 2021. С. 112-116.

21. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов / Е.А. Зубков, Д.Н. Гарькуша, О.Б. Барцев, А.М. Никаноров; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2019. 199 с. [Электронный ресурс] URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=577759> (дата обращения: 03.10.2023).

22. Экологический вестник Дона / Сборник: О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2022 году. / Под общ. ред. М.В. Фишкина. Ростов/на Д: Мин-во природных ресурсов и экологии Ростовской области. 2023. 372 с.

23. Никаноров А.М. Масштабы подтопления, режим и качество грунтовых вод застроенных территорий юга Ростовской области / А.М. Никаноров, О.Б. Барцев, Д.Н. Гарькуша, Е.А. Зубков // Вестник Южного научного центра. Т. 2, № 3, 2015. С. 66-80. EDN: UHJTBX.

24. S.A. Manzhina, T.I. Drovovozova, and A.A. Kirilenko Ecological aspects of the state of natural and technical systems in the zone of irrigated agriculture effect // E3S Web of Conferences 395, 02007 (2023) ETSAIC2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339502007>

25. Шалашова О.Ю., Рубцов И.П. Трансформация чернозема обыкновенного при длительном орошении

13. Monitoring of natural ecosystems of the Manych Valley: Proceedings of the Federal State Institution "Rostovsky State Nature Reserve". Issue 4. Rostov n/D: Publishing house of the Scientific Research Center of the Higher School of Economics of the Southern Federal University, 2010. 216 p.

14. Kohanistaya E.V., Khoruzhaya T.A. The current level of salt pollution in the Proletarian and Veselovsky reservoirs. // News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences. No. 2, 2015. P. 88-92. EDN: TXJFRL.

15. Stepanyan O.V., Startsev A.V. The current state of biota in reservoirs of the Kuma-Manych depression: Ust-Manych, Vselovsky, Proletarsky and Chograisky reservoirs (review) / O.V. Stepanyan, A.V. Startsev // Arid ecosystems, 2014, vol. 20, No. 2(59). P. 56-69. DOI: 10.13140/RG.2.1.1326.7369

16. Kruglova V.M. Veselovskoe reservoir. Rostov n/D: Publishing house of Growth. University, 1962. 115 p.

17. Kleshchenkov A.V. Hydrometeorological and hydrological-hydrochemical conditions of the eastern part of the Proletarian reservoir and reservoirs of the Manych valley in the modern period / A.V. Kleshchenkov, V.G. Sawyer, E.G. Alyoshina, et al. // Proceedings of the UNC RAS. Volume VII. 2018. Pp. 38-56. DOI 10.23885/1993-6621-2018-7-38-56.

18. Novikova A.F. Meliorative condition of irrigated lands of the Rostov region // Soil Science, 2008, No. 5. P. 599-613.

19. Skovpen A.N. Long-term dynamics of properties of ordinary chernozems under irrigation conditions / A.N. Skovpen, V.P. Kalinichenko // Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Natural sciences. Appendix, 2006, No. 11. P. 94-100.

20. Manzhina S.A. Formation of a monitoring system for water bodies in areas affected by agricultural production (on the example of the Rostov region) / XVI International Scientific and Practical Symposium and Exhibition "Clean Water of Russia-2021" May 17-20, 2021. Yekaterinburg: Gilaym LLC, 2021. P. 112-116.

21. Groundwater in the south of the Rostov region and their impact on flooding of the territories of settlements / E.A. Zubkov, D.N. Garkusha, O.B. Bartsev, A.M. Nikanorov; Southern Federal University. Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2019. 199 p. [Electronic resource] URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=577759> (date of request: 03.10.2023).

22. Ecological Bulletin of the Don / Collection: On the state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2022. / Under the general editorship of M.V. Fishkin. Rostov-on-Don: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov region. 2023. 372 p.

23. Nikanorov A.M. The scale of flooding, regime and quality of groundwater in the built-up areas of the south of the Rostov region / A.M. Nikanorov, O.B. Bartsev, D.N. Garkusha, E.A. Zubkov // Bulletin of the Southern Scientific Center. Vol. 2, No. 3, 2015. P. 66-80. EDN: UHJTBX.

24. S.A. Manzhina, T.I. Drovovozova, and A.A. Kirilenko Ecological aspects of the state of natural and technical systems in the zone of irrigated agriculture effect // E3S Web of Conferences 395, 02007 (2023) ETSAIC2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339502007>

25. Shalashova O.Yu., Rubtsov I.P. Transformation of ordinary chernozem during long-term irrigation with weakly mineralized water of sulfate-sodium composition / O.Y. Shalashova, I.P. Rubtsov // Land reclamation

слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава / О.Ю. Шалашова, И.П. Рубцов // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 1-14. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14>

26. Сковпень А.Н. Многолетняя динамика свойств черноземов обыкновенных в условиях орошения / А.Н. Сковпень, В.П. Калинин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 11, 2006. С. 94-100. EDN: HVEUEN.

27. Ильинская И.Н. Оценка аридизации территории Юго-Востока Ростовской области в динамике / И.Н. Ильинская, О.С. Безуглова, Ю.А. Литвинов // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: материалы международной науч.-практ. конф., Москва, ноябрь 2020 г. / М.: МАКС Пресс, 2020. С. 152-155.

Об авторе

Светлана Александровна Манжина, канд. техн. наук, доцент; SPIN-code: 3829-3611; ORCID: 0000-0001-9322-0843; ID РИНЦ: 861972; manz.svetlana@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Манжина С.А. выполнила теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись. Манжина С.А. имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.06.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 20.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 20.02.2025

and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12, No. 3. P. 1-14. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14>

26. Skovpen A.N. Long-term dynamics of properties of ordinary chernozems under irrigation conditions / A.N. Skovpen, V.P. Kalinichenko // News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences. No. 11, 2006. P. 94-100. EDN: HVEUEN.

27. Ilyinskaya I.N. Assessment of the aridization of the territory of the South-East of the Rostov region in dynamics / I.N. Ilyinskaya, O.S. Bezuglova, Yu.A. Litvinov // Land degradation and desertification: problems of sustainable nature management and adaptation: materials of the international scientific and practical conference, Moscow, November 2020 / Moscow: MAKS Press, 2020. P. 152-155.

About the author

Svetlana A. Manzhina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; SPIN-code: 3829-3611; ORCID: 0000-0001-9322-0843; RSCI ID: 861972; manz.svetlana@yandex.ru

Manzhina S.A. performed theoretical research, on the basis of which she generalized and wrote a manuscript. Manzhina S.A. has copyright on the article and is responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-43-49>

УДК 633.11:528.8



ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПО ЗНАЧЕНИЮ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI

М.С. Зверьков[✉], С.С. Смелова

Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга»; 140483, Московская область, Коломенский городской округ, пос. Радужный, 33а, Россия

Аннотация. Отмечается, что урожайность является интегральным показателем состояния сельскохозяйственных земель. Технология дистанционного зондирования Земли эффективно используется для наблюдений за растениями в период вегетации. Значение спектрального вегетационного индекса NDVI может быть использовано для прогноза урожайности различных сельскохозяйственных культур. Цель исследований заключалась в прогнозе урожайности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по значению вегетационного индекса NDVI. Научно-практическая значимость результатов исследований, полученных по представленной методике, может быть адаптирована для фенологических наблюдений и изучения продуктивности посевов *Triticum aestivum* L. в других условиях. Для прогноза использовался набор спектральных изображений спутника Sentinel-2 Европейского космического агентства. Расчеты выполнены в геоинформационной системе QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze») и SAGA GIS9.3.1. По данным прогноза, урожайность *Triticum aestivum* L. составила $60,41 \pm 0,06$ ц/га, ошибка прогноза по сравнению с фактически полученной – 2,2%.

Ключевые слова: урожайность, пшеница, вегетационный индекс NDVI, прогноз, спутниковый снимок, дистанционное зондирование,

Формат цитирования: Зверьков М.С., Смелова С.С. Прогноз урожайности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по значению вегетационного индекса NDVI // Природообустройство. 2025. № 2. С. 43-49. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-43-49>

Original article

FORECAST OF WINTER WHEAT YIELD (*TRITICUM AESTIVUM* L.) BY THE VALUE OF THE NDVI VEGETATION INDEX

M.S. Zverkov[✉], S.S. Smelova

All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems “Raduga”; 140483, Moscow region, Kolomna city district, village Raduzhny, 33a, Russia

Abstract. It is noted that productivity is an integral indicator of the condition of agricultural lands. Earth remote sensing technology is effectively used to observe plants during the growing season. The value of the NDVI spectral vegetation index can be used to predict the yield of various crops. The purpose of the study was to predict the yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) based on the value of the NDVI vegetation index. The scientific and practical significance of the research results obtained using the presented methodology can be adapted for phenological observations and studying the productivity of *Triticum aestivum* L. crops. in other conditions. A set of spectral images from the Sentinel-2 satellite (European Space Agency) was used for the forecast. The calculations were performed in the geographic information system QGIS (ver. 3.28.1 “Firenze”) and SAGA GIS9.3.1. According to the forecast, the yield of *Triticum aestivum* L. was 60.41 ± 0.06 kg/ha, the forecast error compared to the actual one was 2.2%.

Keywords: yield, wheat, vegetation index NDVI, forecast, satellite image, remote sensing

Format of citation: Zverkov M.S., Smelova S.S. Forecast of winter wheat yield (*Triticum aestivum* L.) by the value of the NDVI vegetation index // Prirodobustroystvo. 2025. № 2. P. 43-49. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-43-49>

Введение. Урожайность является интегральным показателем состояния сельскохозяйственных земель. Это позволяет на его основе судить о плодородии почв,

контролировать количество вносимых в почву удобрений. Достоверная и своевременная информация о состоянии посевов и почвенного покрова, оценка качества и количества будущего урожая и, как следствие, прогноз цен на аграрную продукцию оказывают существенное влияние как на экономику отдельного региона, так и на мировую торговлю в целом. В этой связи актуальными являются исследования, результаты которых позволяют оперативно оценивать состояние сельскохозяйственных культур.

Технология дистанционного зондирования Земли эффективно используется для наблюдений за растениями в период вегетации. Исследователи используют разные расчетные индексы для мониторинга состояния посевов. Наибольшее распространение получили так называемые вегетационные индексы, которые вычисляются путем соотношения значений спектральных характеристик (длин волн) различного диапазона. В общем случае спектральные индексы представляют собой эвристически полученные функциональные зависимости от значений спектральной отражательной способности в различных спектральных диапазонах [1]. Наибольшее распространение получил Normalized difference vegetation index (NDVI) – нормализованный разностный вегетационный индекс [2]. Он рассчитывается по зависимости:

$$NDVI = \frac{I_{(x,y)}^{nir} - I_{(x,y)}^{red}}{I_{(x,y)}^{nir} + I_{(x,y)}^{red}},$$

где $I_{(x,y)}^{nir}$ и $I_{(x,y)}^{red}$ – значения спектральных характеристик в точке поля с координатой (x, y) в спектральных каналах Near-Infrared (NIR, ближний инфракрасный диапазон длин волн, 865 нм) и RED (видимое излучение, 665 нм) соответственно.

Пшеница является одной из основных зерновых культур в мире, обеспечивая реализацию условий продовольственной безопасности [3]. В работе [4] отмечается сильная корреляционная связь (0,70...0,89) между NDVI и урожайностью зерновых культур. Пиковые величины NDVI, которые авторы рекомендуют использовать для прогнозирования урожайности [5, 6]. По данным [7], достоверные прогнозы об урожайности озимой пшеницы можно получить, основываясь на данных NDVI, примерно за 40 дней до уборки урожая, что соответствует фенологическим фазам выхода в трубку-колошения. Ошибка прогноза не превысила 4,62...5,40%. Для посевов пшеницы значения NDVI в условиях Фейсалабада (Пакистан) были максимальными в период цветения (0,74...0,85), колошения и налива зерна (0,78...0,88) [8]. В условиях Орловской

области пиковые значения NDVI = 0,72 приходятся на фазу колошения [9]. Значения вегетационного индекса в фазу цветения для прогноза урожайности пшеницы предложено использовать [10, 11] в фазу налива зерна [12, 13]. Такой разброс данных во многом может быть объясним различиями в условиях выращивания и особенностью сортов. При этом для проведения исследований в каждом конкретном случае можно сформулировать гипотезу. Наибольшая продуктивность посевов, согласно этой гипотезе, будет определяться наилучшим состоянием культуры, которому соответствует максимальное (пиковое) значение NDVI.

Цель исследований: прогноз урожайности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по значению вегетационного индекса NDVI.

Научно-практическая значимость результатов исследований заключается в том, что представленная в них методика может быть адаптирована для фенологических наблюдений и изучения продуктивности посевов *Triticum aestivum* L. в других условиях.

Материалы и методы исследований. Мелиорируемый участок расположен на землях АО «Северка» в Коломенском городском округе Московской области, в с. Шкин. В соответствии со схемой севооборота в 2024 г. на опытном участке площадью 11,05 га выращивали пшеницу озимую сорта Тимирязевка 150 (*Triticum aestivum* L.), оригинатор – ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко». Для посева использовали семена репродукции ЭС (элитные семена, поставщик ООО «Щелково Агрохим»). Способ посева – рядовой с междурядьем 15 см; норма высева семян – 228 кг/га, глубина заделки семян – 4 см. Начало и конец посева – 21.09.2023 г. и 22.09.2023 г. соответственно. Весной внесены минеральные удобрения (аммиачная селитра, 34%, ФосАгро) в норме 150 кг/га. Начало и конец уборки – 26.07.2024 г. и 15.08.2024 г. соответственно. Учетная урожайность (хозяйственная) составила 59,10 ц/га.

Пиковая фаза вегетации – колошение и цветение растений. По фенологическим наблюдениям, эта фаза в среднем наступила примерно 10-15 июня, что соответствует биологическим срокам (фаза 51-69 по шкале Zadoks J.C.). Наиболее релевантные снимки – набор спектральных изображений спутника Sentinel-2 Европейского космического агентства на 12.06.2024 г. Для построения графика хода вегетационных индексов, изучения состояния посевов дополнительно использовались снимки на 03.04, 03.05, 30.05, 04.07, 17.07, 27.07, 16.08.

Расчет NDVI выполнен по методу микширования исходных геопривязанных растровых изображений ближнего инфракрасного (NIR, B08) и красного (RED, B04) областей спектра снимков Sentinel-2 с использованием программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходные растры имеют метаданные драйвера GDAL – GeoTIFF, тип данных – Byte (8-битное беззнаковое целое), система координат EPSG:4326 – WGS84. Векторизация итогового растра NDVI выполнена в среде геоинформационной системы SAGA GIS9.3.1. Оценка площадей выполнена с помощью функции геометрии полигонального объекта \$area.

На участке в поперечном направлении фиксируется зона эрозии, наблюдения за которой ведутся с 2020 г. Эта зона практически полностью засорена ежевником обыкновенным (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv). Период развития озимой пшеницы от восковой спелости до зрелости визуально отличается от периода начала вегетации посевов ярко-зеленым цветом. Это наблюдается на спутниковых снимках и в условиях *in situ*.

Потенциальная урожайность за счет поступления фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассчитана по формуле А.А. Ничипоровича:

$$Y_{FAR} = \frac{\Sigma Q_{FAR} K}{10^5 q}, \quad (1)$$

где Y_{FAR} – урожайность абсолютно сухой растительной массы, т/га; ΣQ_{FAR} – количество приходящей ФАР за период вегетации культур, млрд ккал/га; K – запланированный коэффициент использования ФАР, %; 10^5 – перевод в тонны.

Урожайность стандартной влажности $Y_{ст.вл.}$ вычислена по формуле, т/га:

$$Y_{ст.вл.} = Y_{FAR} \frac{100}{(100 - w) \alpha}, \quad (2)$$

где w – стандартная влажность, %; α – отношение суммы абсолютно сухой биомассы, равной единице, к абсолютно сухой биомассе побочной продукции.

ФАР для оценки потенциальной продуктивности определена по формуле [14]:

$$\Sigma Q_{FAR} = C_s \Sigma S_i + C_D \Sigma D, \quad (3)$$

где ΣQ_{FAR} – суммарная ФАР; C_s – эффективный коэффициент перехода от дневных сумм прямой солнечной радиации S_i к дневным суммам прямой ФАР; $C_D \sim 0,57$ – коэффициент перехода от интегральной рассеянной радиации к рассеянной ФАР; D – рассеянная радиация.

Используя методику [14], справочные данные [15] и формулу (3), получили распределение суммарной ФАР с апреля по октябрь для условий

изучаемого участка (рис. 1). Накопленный посевами *Triticum aestivum* L. приход ФАР за период вегетации культуры составил 28,51 ккал/см².

Зная значения Y_{FAR} , $Y_{ст.вл.}$ и график хода вегетационного индекса NDVI, можно составить прогноз урожайности сельскохозяйственных культур. Для точного прогнозирования урожайности необходимо брать в расчет значение NDVI, приходящееся на момент пика созревания культуры, то есть максимальное значение. После векторизации растра для каждой фазы на протяжении вегетационного периода получен набор атрибутивных данных со значениями NDVI. Эти данные используются в прогнозе урожайности $Y_{пр}$ по зависимости:

$$Y_{пр,i} = f(NDVI_i(x_i; y_i); Y_{ст.вл.}), \quad (4)$$

где $NDVI_i$ – значение вегетационного индекса в векторизованном участке поля с координатами центра $(x_i; y_i)$.

Последовательно вычисляя значение урожайности $Y_{пр,i}$ в каждом векторизованном участке поля с координатами центра $(x_i; y_i)$, получают набор данных, размер которого соответствует исходному набору атрибутивной информации NDVI. Полученные значения $Y_{пр,i}$ используются для построения карты зон продуктивности поля.

Зональная статистика NDVI (медиана *median*, минимальные *min*- и максимальные *max*-значения) рассчитывалась в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Обработка данных по методу группировки интервалов, расчета частот (с графиком накопления частот – интегральным%) и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Office Excel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)). Уровень статистической значимости принят как 0,05, рассчитывались стандартное отклонение s и доверительный интервал медианы d .

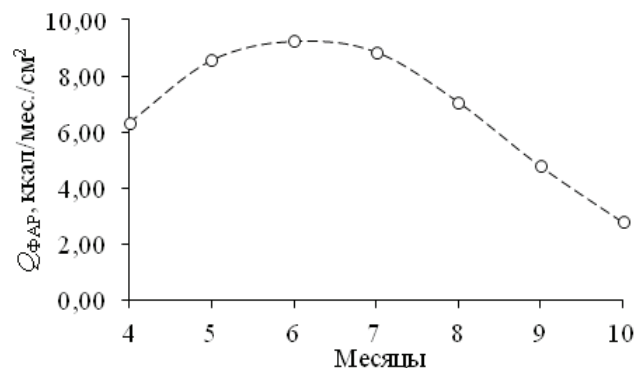


Рис. 1. Распределение суммарной фотосинтетически активной радиации (ФАР) с апреля по октябрь

Fig. 1. Distribution of total photosynthetically active radiation (PAR) from April to October

Наблюдение за метеорологическими параметрами на опытном участке организовано с помощью цифровой метеорологической станции Davis Vantage Pro26152CEU.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2а показан график хронологического хода NDVI для *Triticum aestivum* L., на рисунке 2б – гистограмма распределения значений вегетационного индекса в пиковой фазе вегетации (колошение и цветение растений). В ряду данных NDVI не учитывали наблюдения за период от посева до начала кущения, так как эти фазы наступили осенью 2023 г. Вегетационный период 2024 г. начался рано; уже в первой декаде апреля среднесуточная температура воздуха была выше +5°C, а в отдельные дни, как, например, 6 апреля, – около 0°C. По данным расчета, в этот период медианные значения NDVI составили $0,23 \pm 0,03$ ($s = 0,06$; $max = 0,33$; $min = 0,13$). В целом эти значения свидетельствуют об удовлетворительной зимовке растений и о благоприятном прогнозе развития.

Со второй декады апреля и до конца месяца среднесуточная температура воздуха составляла примерно +10,5°C. В связи с тем, что до середины второй декады мая среднесуточная температура была в среднем +6,0°C при нижней границе амплитуды колебаний в сторону отрицательных значений в ночные часы, этот период характеризуется как экстремальный для посевов. Такие метеорологические условия вызвали задержку наступления следующих фенологических фаз и уборку примерно на 10-15 суток. Несмотря на это, к 3 мая (фаза 25 – середина кущения по шкале Zadoks J.C.) медианные значения NDVI составили $0,53 \pm 0,04$ ($s = 0,16$; $max = 0,82$; $min = 0,27$), к 20 мая (фаза 37 – появление флагового листа по шкале Zadoks J.C.,

задержка по причине заморозков) $median = 0,68 \pm 0,04$ ($s = 0,18$; $max = 0,89$; $min = 0,29$). К 30 мая ввиду роста среднесуточной температуры до +20,3°C, отсутствия осадков и среднесуточной испаряемости 176,2 мм растения *Triticum aestivum* L. находились в условиях стресса. В результате этого вегетационный индекс имел значения $median = 0,56 \pm 0,04$ ($s = 0,18$; $max = 0,91$; $min = 0,30$), что меньше, чем 10 днями ранее.

В период со 2 по 12 июня выпало 32,75 мм осадков, что благоприятно сказалось на посевах. К этому моменту наступила фаза колошения и цветения (59-61 по шкале Zadoks J.C.). Значения NDVI были максимальными за весь период наблюдений. Математическое ожидание NDVI составило, согласно расчетам, $0,83 \pm 0,05$. Дальнейшие наблюдения показывают постепенное снижение значения вегетационного индекса до минимального значения $median = 0,25 \pm 0,04$ ($s = 0,15$; $max = 0,71$; $min = 0,20$) в фазу полной спелости (91-93 по шкале Zadoks J.C.). Максимальные значения в этот период относятся к эродированному участку, засоренному *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.

Необходимо отметить, что уточнение ряда данных (исключение из расчета области, засоренной ежовником обыкновенным) в пиковую фазу вегетации не повлияло на значение NDVI, которое для прогноза принято $median = 0,83 \pm 0,05$.

По методике А.А. Ничипоровича потенциальная урожайность по приходу ФАР (3% использования) составила 72,79 ц/га при соотношении основной (зерно) и побочной (солома, корневые остатки и др.) продукции, соответственно, как 1:2 и стандартной влажности 14%. Прогнозная урожайность $Y_{пр}$ основной продукции составила $60,41 \pm 0,06$ ц/га ($s = 6,55$). Ошибка прогноза по сравнению с фактически собранным

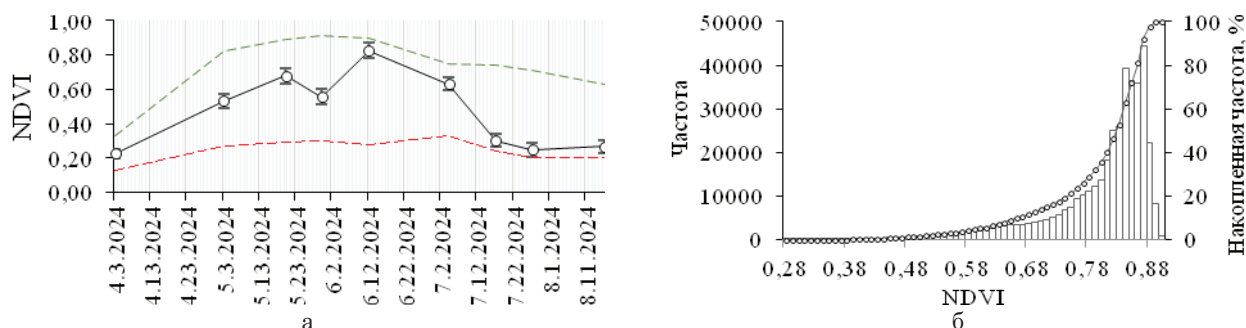


Рис. 2. График хронологического хода (а) и гистограмма за 12.06.2024 г. (б) значений NDVI для *Triticum aestivum* L. на опытном участке:

—○— — значения NDVI;

----- и ----- соответственно максимальные и минимальные значения NDVI

Fig. 2. Graph of chronological course (a) and histogram for 12/06/2024 (b) NDVI values for *Triticum aestivum* L. at the test site:

—○— — NDVI values; ----- and ----- maximum and minimum NDVI values, respectively

зерном составила 2,2% ($< 10\%$). Коэффициент вариации равен 0,11, то есть статистически ряд данных характеризуется как достаточно однородный.

На рисунке 3 приведены карты NDVI (а) за 12.06.2024 г., рассчитанные на ее основе зоны продуктивности (б) и граница эрозионных процессов (в). Из анализа рисунков 3а и 3б следует, что флуктуации зоны пониженной продуктивности (< 30 ц/га) приурочены к разным частям

участка, при этом также наблюдаются в контуре эрозионного процесса, однако по площади составляют не более 0,03 га (0,30% от общей площади опытного участка). На более поздних снимках в фазе физической спелости визуализируются отличающиеся по окраске от основной части участка зеленые паттерны, связанные с засоренностью эродированного участка ежевником обыкновенным и отсутствием культурных растений пшеницы озимой (рис. 3в).

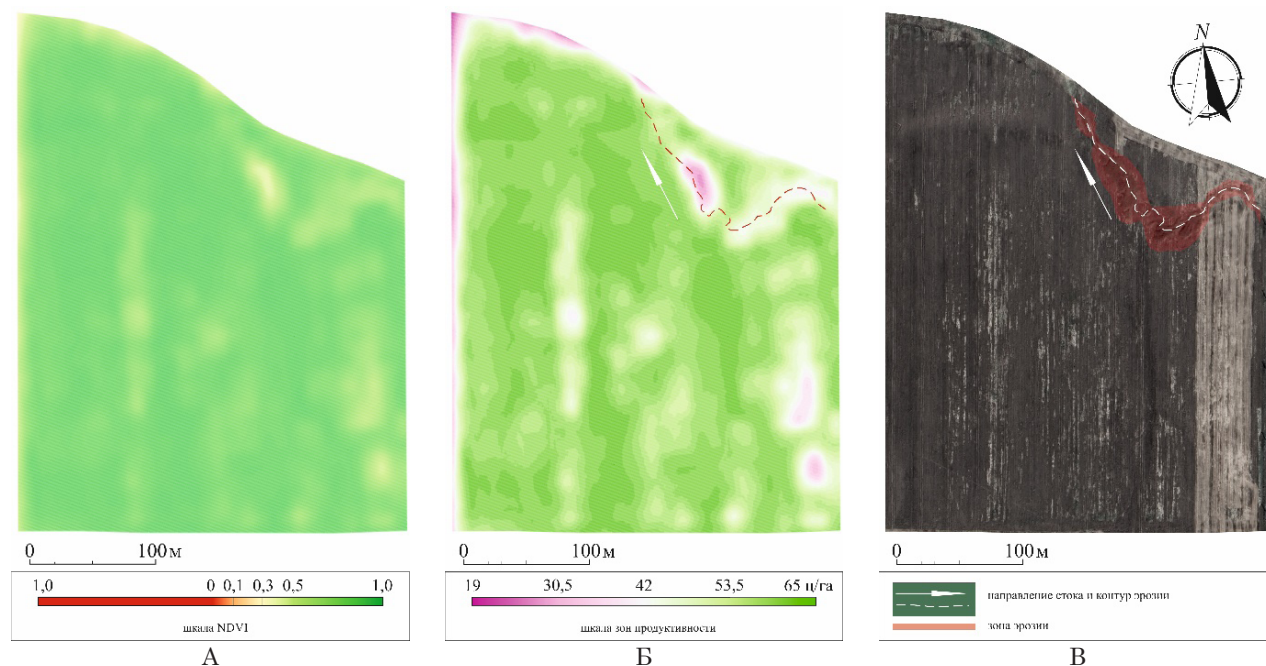


Рис. 3. Карты NDVI (А), зон продуктивности (Б), эрозионных процессов

Fig. 3. Maps of NDVI (A), productivity zones (B), erosion p

Выводы

В статье приводится результат прогноза урожайности пшеницы озимой сорта Тимирязевка 150 (*Triticum aestivum* L.) по данным вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по методу микширования исходных геопривязанных растровых изображений ближнего инфракрасного (NIR, B08) и красного (RED, B04) областей спектра спутниковых снимков Sentinel-2. Прогнозная урожайность $Y_{\text{пр}}$ основной продукции составила $60,41 \pm 0,06$ ц/га. Ошибка прогноза по сравнению с фактически собранным зерном (фактической урожайностью) составила 2,2% ($< 10\%$). По данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга», средняя урожайность озимой

пшеницы в богарных условиях в Московской области составляет 32,5 ц/га, по данным Росстата – 41,9 ц/га (рассчитана авторами данных исследований за период 2017-2023 гг.). По данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга», урожайность пшеницы на орошении выше на 12,5 ц/га и составляет в среднем 40,9 ц/га.

Таким образом, на опытном участке получена урожайность выше средней по региону, что можно объяснить хорошей агротехникой и высоким продуктивным потенциалом сорта. С другой стороны, урожайность оказалась ниже обеспеченной ФАР, что в целом объяснимо сложными метеорологическими условиями вегетационного периода в 2024 г.

Список использованных источников

1. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. 2009. № 3. С. 28-32.
2. Hassan M.A., Yang M., Rasheed A., Yang G., Reynolds M., Xia X., Xiao Y., He Z. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform // Plant science: an international journal of experimental plant biology. 2019. Vol. 282. P. 95-103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022.
3. Becker-Reshef I., Vermote E., Lindeman M., Justice C. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data // Remote Sensing of Environment, 2010, vol. 114(6), P. 1312-1323. DOI: 10.1016/j.rse.2010.01.010.
4. Belmahi M., Hanchane M., Krakauer N.Y., Kessabi R., Bouayad H., Mahjoub A., Zouhri D. Analysis of Relationship between Grain Yield and NDVI from MODIS in the Fez-Meknes Region, Morocco // Remote Sensing, 2023, vol. 15(11). DOI: 10.3390/rs15112707.
5. Абдушаева Я.М. Оценка продукционного процесса растений озимой пшеницы по вегетационному индексу // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 2(119). С. 18-29. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-18-29.
6. Зверьков М.С. Анализ состояния орошаемых культур по данным дистанционного зондирования Земли с использованием спектрального индекса NDVI / М.С. Зверьков, С.С. Смелова // Экология и строительство. 2024. № 1. С. 24-34. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-01-004.
7. Ren J., Chen Z., Zhou Q., Tang H. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008. Vol. 10(4). P. 403-413. DOI: 10.1016/j.jag.2007.11.003.
8. Normalized difference vegetation index as a tool for wheat yield estimation: a case study from Faisalabad, Pakistan / Sultana S.R., Ali A., Ahmad A. et al. // The Scientific World Journal, 2014, 725326, 8 p. DOI: 10.1155/2014/725326.
9. Использование вегетативного индекса NDVI для прогноза урожайности зерновых культур / С.А. Родимцев, Н.Е. Павловская, С.В. Вершинин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 4(65). С. 56-67. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-56-67. EDN IRLXQG.
10. Duan T., Chapmana S.C., Guo Y., Zheng B. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle // Field Crops Research, 2017. Vol. 210, P. 71-80. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.05.025.
11. Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops Using Small UAVs / Guan S., Fukami K., Matsunaka H., et al. // Remote Sensing, 2019, vol. 11, 112. DOI: 10.3390/rs11020112.
12. Wheat Yield and Protein Estimation with Handheld and Unmanned Aerial Vehicle-Mounted Sensors / Walsh O.S., Marshall J.M., Nambi E. et al. // Agronomy 2023, vol. 13, p. 207. DOI: 10.3390/agronomy13010207.
13. Zsebő S., Bede L., Kukorelli G., Kulmány IM, Milics G., Stencinger D., Teschner G., Varga Z., Vona V., Kovács A.J. Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology // Drones. 2024. Vol. 8, no. 3. P. 88. DOI: 10.3390/drones8030088.

References

1. Cherepanov A.S. Spectral properties of vegetation and vegetation indices / A.S. Cherepanov, E.G. Druzhinina // Geomatics. 2009. No. 3. P. 28-32.
2. Hassan M.A., Yang M., Rasheed A., Yang G., Reynolds M., Xia X., Xiao Y., He Z. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform // Plant science: an international journal of experimental plant biology. 2019. Vol. 282. P. 95-103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022.
3. Becker-Reshef I., Vermote E., Lindeman M., Justice C. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data // Remote Sensing of Environment, 2010, vol. 114(6), P. 1312-1323. DOI: 10.1016/j.rse.2010.01.010.
4. Belmahi M., Hanchane M., Krakauer N.Y., Kessabi R., Bouayad H., Mahjoub A., Zouhri D. Analysis of Relationship between Grain Yield and NDVI from MODIS in the Fez-Meknes Region, Morocco // Remote Sensing, 2023, vol. 15(11). DOI: 10.3390/rs15112707.
5. Abdushayeva Ya.M. Assessment of the production process of winter wheat plants by the vegetation index // Agro Eco Engineering. 2024. No. 2(119). P. 18-29. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-18-29.
6. M.S. Zverkov, Analysis of the state of irrigated crops according to remote sensing data using the NDVI spectral index / M.S. Zverkov, S.S. Smelova // Ecology and construction. 2024. No. 1. P. 24-34. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-01-004.
7. Ren J., Chen Z., Zhou Q., Tang H. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008. Vol. 10(4). P. 403-413. DOI: 10.1016/j.jag.2007.11.003.
8. Normalized difference vegetation index as a tool for wheat yield estimation: a case study from Faisalabad, Pakistan / Sultana S.R., Ali A., Ahmad A. et al. // The Scientific World Journal, 2014, 725326, 8 p. DOI: 10.1155/2014/725326.
9. The use of the NDVI vegetative index for predicting grain yields / S.A. Rodimtsev, N.E. Pavlovskaya, S.V. Vershinin [et al.] // Bulletin of the NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2022. No. 4(65). P. 56-67. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-56-67. EDN IRLXQG.
10. Duan T., Chapmana S.C., Guo Y., Zheng B. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle // Field Crops Research, 2017. Vol. 210, P. 71-80. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.05.025.
11. Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops Using Small UAVs / Guan S., Fukami K., Matsunaka H., et al. // Remote Sensing, 2019, vol. 11, 112. DOI: 10.3390/rs11020112.
12. Wheat Yield and Protein Estimation with Handheld and Unmanned Aerial Vehicle-Mounted Sensors / Walsh O.S., Marshall J.M., Nambi E. et al. // Agronomy 2023, vol. 13, p. 207. DOI: 10.3390/agronomy13010207.
13. Zsebő S., Bede L., Kukorelli G., Kulmány IM, Milics G., Stencinger D., Teschner G., Varga Z., Vona V., Kovács A.J. Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology // Drones. 2024. Vol. 8, no. 3. P. 88. DOI: 10.3390/drones8030088.

14. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко [и др.]; Под редакцией А.В. Гордеева. М: Типография Россельхозакадемии, 2007. 236 с.

15. Справочник агронома Нечерноземной зоны / под ред. Г.В. Гуляева. М.: Агропромиздат, 1990. 575 с.

Об авторах

Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000000283484391; Scopus 57221661750; PИHЦ AuthorID: 751258; mzverkov@bk.ru

Смелова Светлана Станиславовна, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник; ORCID: 0009000917170026; Scopus 6504283625; PИHЦ AuthorID: 651060; smelova_svetlana@mail.ru

14. Bioclimatic potential of Russia: methods of monitoring in a changing climate / A.D. Kleshchenko, B.A. Chernyakov, O.D. Sirotenko [et al.]; Edited by A.V. Gordeev. Moscow: Printing House of the Russian Agricultural Academy, 2007. 236 p.

15. Handbook of the agronomist of the Non-Chernozem zone / edited by G.V. Gulyaev. Moscow: Agropromizdat, 1990. 575 p.

About the authors

Mikhail S. Zverkov, CSc (Eng), senior researcher; ORCID: 0000000283484391; 57221661750 Scopus; RSCI authorid: 751258; mzverkov@bk.ru

Svetlana St. Smelova, CSc (Bio), associate professor, senior researcher; ORCID: 0009000917170026; 6504283625 Scopus; RSCI authorID: 651060; smelova_svetlana@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Зверьков М.С., Смелова С.С. 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 / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.01.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 26.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 26.02.2025

M.S. Zverkov, S.S. Smelova 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/10.26897/1997-6011-2025-2-50-59>

УДК 626.877:502.654:631.6:631.42



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ ОТХОДОВ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КАРЬЕРОВ И МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS* В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ПЕРВИЧНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

Т.Л. Горбунова , Н.К. Гудкова, Н.И. Рубанова

Филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт природно-технических систем»; 354024, Краснодарский край, г. Сочи, пр-кт курортный (Хостинский р-н), 99, к. 18, Россия

Аннотация. Отходы известняковых карьеров являются продуктом первичной промышленности и добычи строительного материала, а их тонкодисперсная фракция часто остается невостребованной и складывается. Это вызывает экологические и экономические проблемы, так как данные материалы легко рассеиваются под действием силы тяжести, воды и ветра. Цель работы – обоснование инновационного способа утилизации тонкодисперсных отходов карьеров, в том числе в процессе биологической рекультивации самих карьеров, на основе результатов исследования свойств этих материалов. В ходе исследований использовался экспериментальный подход, в котором сравнивались результаты выращивания растений на субстратах: чистой тонкодисперсной фракции отходов, смеси тонкодисперсной фракции и вермикомпоста, а также чистого вермикомпоста. Отдельное внимание уделялось изучению эффекта добавок на основе хлореллы. Результаты исследований показали, что тонкодисперсная фракция отходов известняковых карьеров может быть успешно использована в сельскохозяйственной практике как составная часть субстрата для выращивания растений в сочетании с добавками, основанными на культуре одноклеточных водорослей. Такой субстрат обладает необходимыми питательными элементами и стимулирует рост растений. Полученные результаты могут способствовать развитию циркулярной экономики, в которой отходы одного процесса становятся ресурсами для другого, позволяя минимизировать потери и снизить воздействие на окружающую среду. В частности, они служат обоснованием разрабатываемой авторами схемы замыкания технологических циклов в рамках промышленного симбиоза хозяйствующих субъектов трех различных отраслей: отработанного карьера по добыче известняка, малых фермерских хозяйств и предприятия, создающего и эксплуатирующего туристский объект в результате рекультивации и ландшафтной реабилитации отработанного карьера.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института природно-технических систем по теме «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера» (№ госрегистрации 124013000609-2).

Ключевые слова: тонкодисперсная фракция отходов карьеров, субстрат для выращивания растений, хлорелла, рекультивация карьера, циркулярная экономика

Формат цитирования: Горбунова Т.Л., Гудкова Н.К., Рубанова Н.И. Использование мелиорантов на основе тонкодисперсной фракции отходов известняковых карьеров и микроводоросли *Chlorella vulgaris* в замкнутом цикле обращения с отходами первичного сектора экономики // Природообустройство. 2025. № 2. С. 50-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-50-59>

Scientific article

THE USE OF AMELIORANTS BASED ON THE FINELY DISPERSED FRACTION OF WASTE FROM LIMESTONE QUARRIES AND MICROALGAE *CHLORELLA VULGARIS* IN A CLOSED CYCLE OF WASTE MANAGEMENT IN THE PRIMARY SECTOR OF THE ECONOMY

T.L. Gorbunova✉, N.K. Gudkova, N.I. Rubanova

Branch of the Federal state budgetary scientific institution "Institute of Natural and Technical Systems". 354024, Krasnodar Territory, Sochi, Kurortny ave. (Khostinsky District), 99, room 18.

Abstract. Waste from limestone quarries is a product of primary industry and the extraction of building material, and their finely dispersed fraction often remains unclaimed and is stored. This causes environmental and economic problems, as these materials are easily dispersed by gravity, water, and wind. The purpose of this work is to substantiate an innovative method for the disposal of finely dispersed waste from open pits, including in the process of biological reclamation of the quarries themselves, based on the results of a study of the properties of these materials. In the course of the study, an experimental approach was used, which compared the results of growing plants on substrates: a pure finely dispersed fraction of waste, a mixture of a fine fraction and vermicompost, as well as pure vermicompost. Special attention was paid to the study of the effect of chlorella-based additives. The results of the study showed that the finely dispersed fraction of waste from limestone quarries can be successfully used in agricultural practice as a component of the substrate for growing plants, in combination with additives based on the culture of unicellular algae. Such a substrate has the necessary nutrients and stimulates plant growth. The findings could contribute to the development of a circular economy, in which waste from one process becomes resources for another, minimizing losses and reducing environmental impact. In particular, they serve as a substantiation of the scheme developed by the authors for closing technological cycles within the framework of the industrial symbiosis of economic entities of three different industries – a depleted limestone quarry, small farms and an enterprise that creates and operates a tourist facility as a result of reclamation and landscape rehabilitation of a depleted quarry.

The work was performed within the framework of the state assignment of the Institute of Natural and Technical Systems on the topic "Fundamental and applied research of patterns and mechanisms of formation of regional environmental and climate changes under the influence of global processes in the ocean-atmosphere system" (state registration no. 124013000609-2).

Keywords: finely dispersed fraction of quarry waste, substrate for growing plants, chlorella, quarry reclamation, circular economy

Format of citation: Gorbunova T.L., Gudkova N.K., Rubanova N.I. The use of ameliorants based on the finely dispersed fraction of waste from limestone quarries and microalgae *Chlorella vulgaris* in a closed cycle of waste management in the primary sector of the economy // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 50-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-50-59>

Введение. Тонкодисперсная фракция отходов известняковых карьеров образуется как продукт первичной промышленности (добычи строительного материала), так и вторичный субпродукт – продукт, получаемый при обогащении и/или сортировке горных пород. Поскольку тонкодисперсная фракция является малоиспользуемым материалом, большая его часть просто складывается. Проблема использования таких отходов существует практически во всех странах мира [1]. Например, в настоящее время наиболее распространенной областью применения тонкодисперсной фракции отходов карьеров в европейских странах является использование ее в качестве верхнего несвязного слоя на дворах, полях и улицах с низкой интенсивностью движения [2].

Тонкодисперсный карьерный материал также может использоваться в производстве бетона [3] или как добавка для улучшения свойств почвы [2]. Тем не менее тонкодисперсная фракция остается невостребованным и недостаточно используемым продуктом, что может приводить к экологическим и экономическим проблемам, поскольку они легко рассеиваются под действием силы тяжести, воды и ветра [4]. Этим и обоснована актуальность поставленной авторами цели данной работы: обоснование предложений эффективного способа утилизации тонкодисперсных отходов карьеров в значительных объемах на основе результатов исследования свойств этих материалов [1].

Представленная работа является этапом в серии исследований, посвященных развитию

комплексной системы утилизации отходов первичного сектора экономики и минимизации экологических рисков, связанных с их неэффективным управлением, в соответствии с принципами циклической экономики. В ходе данного этапа исследований был поставлен эксперимент с целью выявления возможности замыкания технологических циклов в рамках промышленного симбиоза хозяйствующих субъектов трех различных отраслей: отработанного карьера по добыче известняка, малых фермерских хозяйств и предприятия, создающего и эксплуатирующего туристский объект в результате рекультивации и ландшафтной реабилитации отработанного карьера [5].

На большинстве карьеров и участках открытой добычи образуются тонкодисперсные отходы, в которых частицы в основном не более 75-100 микрон: глина – менее 2 микрон; ил – от 2 до 60 микрон; мелкий песок – более 60 микрон [6]. Возможности использования тонкодисперсных отходов рассмотрены на примере Дагомысского карьера по добыче известняка. Химический состав известняковых отходов определяется главным образом содержанием кальция CaO (56%) и CO_2 (44%).

Практическое значение выполненной работы обусловлено ее направленностью на решение актуальной прикладной задачи – необходимости мелиоративных мероприятий для рекультивации объектов добычи и обогащения минералов. При этом улучшение физико-химических свойств отработанных пород и повышение их плодородия включают в себя формирование на их основе почвогрунта путем внесения мелиоративного материала. Используемый нами комплекс на основе тонкодисперсной фракции карьера, обычно являющейся отходом добывающего предприятия, и суспензии микроводорослей, выращенной на отходах малых крестьянских хозяйств, является сравнительно недорогим и отвечающим специфическим условиям исследуемого региона.

Цель исследований: обоснование предложений эффективного способа утилизации тонкодисперсных отходов карьеров в значительных объемах на основе результатов исследования свойств этих материалов.

Материалы и методы исследований. Дагомысское месторождение известняков находится в Лазаревском районе г. Сочи Краснодарского края, на правом склоне долины р. Западный Дагомыс, в 13 км от места ее впадения в Черное море.

Известняк Дагомысского карьера имеет отличную ударостойкость и высокую устойчивость

к перепадам температур, обладает низкими водонасыщением и водопоглощением. Отходы добычи известняка относятся к техногенным отложениям, которые в районе Дагомысского карьера представлены щебнем и глыбами вскрышных пород и известняка. Эти отложения имеют распространение в виде осыпей и карьерных дорог, а также в виде двух крупных карьерных отвалов, расположенных в северо-западной и северо-восточной частях земельного отвода. Высота насыпей отвалов достигает 30 м.

В период рекогносцировочного обследования территории Дагомысского карьера, проведенного авторами в июне 2023 г., экспертным путем была выполнена оценка размерности (по среднему диаметру частиц отходов на площади 5 на 5 м) и структуры отвалов отходов карьера: крупные частицы отходов (10 и более см) составляют менее 5% общего объема отходов; средние (5-8 см) – 20%; мелкие (5 см и менее) – 70-75%; тонкодисперсные (менее 100 микрон) – менее 5% общего объема отходов.

Кроме того, в 2020-2021 гг. авторами был проведен научно-практический эксперимент по использованию культуры микроводоросли *Chlorella Vulgaris* в безотходном цикле производства продукции традиционного крестьянского хозяйства (в селе Адзюбжа Очамчирского района Республики Абхазия) [7]. Данный эксперимент являлся одним из фрагментов внедрения проекта «ЭКОПОЛИС», разработанного по инициативе НИМЦ экологии и здоровья человека совместно с учеными НИИ экспериментальной патологии и терапии Академии наук Абхазии [8, 9].

Предложенный в результате эксперимента подход, основанный на комплексных многоуровневых процессах функционирования малого крестьянского хозяйства, обеспечивает производство экологически приемлемой сельскохозяйственной продукции высоких потребительских свойств, базируется на использовании минеральных и биогенных ингредиентов, содержащихся в утилизируемых отходах хозяйства. Последние служат питательным субстратом, источником энергии и микроэлементов для роста и функционирования биологических культур, превращающих органические отходы жизнедеятельности и производства в ценный коммерческий продукт [10, 11]. В ходе эксперимента на Абхазском подворье был произведен вермикомпост с использованием монокультуры червей «Владимирский старатель», выведенной специально для применения на территории РФ, при подкормке червей суспензией хлореллы, выращенной на органических отходах животноводства.

Искусственный субстрат, полученный в рамках эксперимента, потенциально может быть предложен к использованию: во-первых, для выращивания агрокультуры на подворьях малых фермерских хозяйств; во-вторых, в качестве основы для создания плодородного слоя в процессе рекультивации карьера.

В эксперименте тестировалось три вида субстрата:

А. Тонкодисперсная фракция отходов Дагомысского карьера с размером частиц менее 65 микрон.

В. Смесь в пропорции 1:1 тонкодисперсной фракции отходов карьера и вермикомпоста.

С. Вермикомпост, полученный в результате предыдущих исследований.

Кроме того, тестировался эффект от добавления в субстрат определенных добавок:

1. Полив водой без внесения дополнительных подкормок (контрольная группа).

2. Обработка культуральной средой хлореллы, произведенной путем сепарации клеточной суспензии водорослей при завершении биотехнологического цикла выращивания клеточной культуры при поливе водой.

3. Обработка суспензией хлореллы при поливе водой.

Эксперимент проводился в естественных климатических условиях под навесом, время экспозиции эксперимента составило 12 дней. В качестве тест-объекта использовался кресс-салат (*Lepidium sativum* L.), однолетнее овощное растение с повышенной чувствительностью к загрязнению почвы, служащее признанным биоиндикатором качества среды [12]. Каждый эксперимент ставился в 24 повторностях.

Во всех проведенных экспериментах учитывались следующие показатели:

- всхожесть семян (отношение количества проросших семян к числу высеванных);
- количество выживших растений;
- формирование листьев.

Для обработки данных применялся следующий подход по каждому критерию оценки результатов эксперимента:

1. Формируется упорядоченный ряд значений показателей, достигнутых на 4, 7 и (или) 12 дни эксперимента (в зависимости от особенностей проявления показателя).

2. Упорядоченный ряд делился на три части (терцили).

3. Значениям, попавшим в нижний терциль, присваивается 1 балл («низкий уровень показателя»), в средний – 2 балла, что означает «средний уровень показателя», в верхний

терциль – 3 балла («высокий уровень показателя»).

4. Для каждого критерия оценки строится матрица средних значений рангов каждого сочетания субстрата и способа его обработки.

5. Формируется итоговая матрица как средняя из рангов достигнутых уровней по всем оцениваемым критериям.

Статистические расчеты и построение диаграмм для данного исследования проводились с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Динамика всхожести семян представлена на рисунке 1.

Следует отметить, что органика, присутствующая в суспензии хлореллы, в сочетании с минеральной фракцией отходов карьера (рис. 1а), содержащей кальций и магний, стимулирующих рост клеток хлореллы, обеспечивая повышение всхожести семян.

Анализ данных показал, что наиболее информативными для оценки дружности и масовости прорастания семян являются 4 и 7 дни экспозиции эксперимента. Результаты балльной оценки по показателю всхожести за эти дни представлены в таблице 1.

Показатель выживания растений. В естественных климатических условиях, в которых проводился эксперимент, не все растения смогли выжить. Поэтому использовался показатель числа фиксируемых живых растений с учетом появившихся новых проростков (+) и погибших растений (–).

В целом наиболее эффективной оказалась обработка растений суспензией хлореллы (рис. 2). При сравнении экспериментов с внесением в тонкодисперсный субстрат (рис. 2а) в качестве подкормки культуральной среды хлореллы (А2) и суспензии хлореллы (А3) следует отметить, что с 7 по 10 дни экспозиции количество растений была одинаковым (16 или 67% от числа посеянных), но в последующий период в первом случае показатель продолжал возрастать, а во втором – снизился. По нашему мнению, это можно объяснить тем, что в культуральной среде питательные вещества органической природы выделялись в среду как продукт жизнедеятельности водорослей, но такая подкормка не содержала клеточной массы, несущей и другие вещества (например, фотосинтезирующие пигменты), как в суспензии клеток хлореллы.

При использовании вермикомпоста в качестве субстрата нет недостатка в питательных органических элементах, необходимых для роста растений, и их добавление с подкормкой в течение эксперимента уже не является критичным.

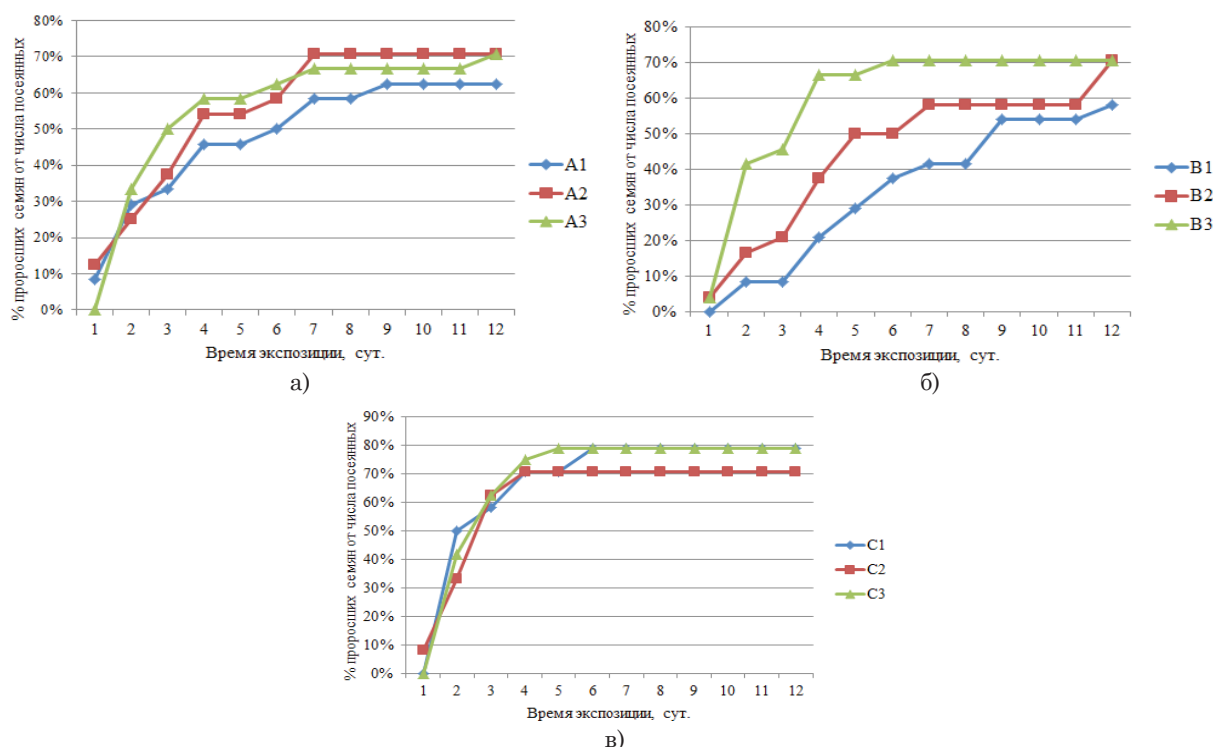


Рис. 1. Динамика прорастания семян в различных вариантах эксперимента:

а) субстрат А – тонкодисперсная фракция отходов;

б) субстрат В – смесь тонкодисперсной фракции и вермикомпоста; в) субстрат С – вермикомпост

Примечание. 1 – полив водой (контрольная группа); 2 – обработка культуральной средой хлореллы и полив водой; 3 – обработка суспензией хлореллы и полив водой

Fig. 1. Dynamics of seed germination in various experimental variants

а) substrate A – finely dispersed fraction of waste;

б) substrate B – mixture of finely dispersed fraction and vermicompost; в) substrate C – vermicompost

Notes: 1 – watering with water (control group); 2 – treatment with chlorella culture medium and watering with water; 3 – treatment with chlorella suspension and watering with water

Таблица 1. Матрица балльной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки по показателю «всхожесть семян»

Table 1. Matrix of point assessment of the relative efficiency of substrate combinations and the type of its treatment by the indicator “seed germination”

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>	С. Вермикомпост <i>Vtrmicompost</i>
1.Полив водой <i>Watering with water</i>	1	1	3
2.Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	2,15	1	2,65
1.Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	2	2,15	3
		значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>	
		значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>	
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>		

Поэтому в данной серии опытов количество сохранившихся растений не отличается друг от друга значимо. Однако привнесение дополнительной подкормки в виде суспензии хлореллы обеспечило более ранний срок достижения максимальных значений количества растений в группе, а также небольшое преимущество на момент окончания эксперимента.

Следует отметить высокие значения показателя количества сохранившихся растений при поливе водой (С1) на 9-й день экспозиции – 19 растений из 24 посеянных (79,2%), это наибольшее значение в группе. Однако в последующие дни этот показатель снижался и в конце эксперимента достиг 70,8%, что оказалось, тем не менее, выше, чем при обработке субстрата культуральной средой хлореллы (С2) – 62,5%.

Результаты балльной оценки по показателю «Выживаемость растений» на конец экспозиции эксперимента (12-й день) представлены в таблице 2.

Как следует из таблицы 3, наиболее результативной является схема (С3) «вермикомпост + суспензия хлореллы». В то же время

следует учитывать, что ее применение требует предварительных материальных и временных ресурсов для производства как самого вермикомпоста, так и суспензии водоросли. При использовании непосредственно тонкодисперсного отхода карьера при подкормке суспензией микроводоросли (А3) окончательный результат несколько ниже (70,8 и 75% соответственно) и эквивалентен результату схемы (В2).

Динамика формирования листьев отслеживалась по среднему количеству листьев (отношение общего количества листьев, сформировавшихся у растений экспериментальной группы, к числу растений, в том числе проростков, в данной группе) и представлена на рисунке 3.

Отметим, что растения, выращенные на тонкодисперсном отходе карьера (рис. 3а), и обрабатываемые водой (А1) и культуральной средой хлореллы (А2) демонстрировали на всем протяжении эксперимента более интенсивное формирование листьев по сравнению с растениями, произрастающими на смеси тонкодисперсного отхода карьера и вермикомпоста (рис. 3б) и обрабатываемыми аналогичным образом (В1 и В2 соответственно).

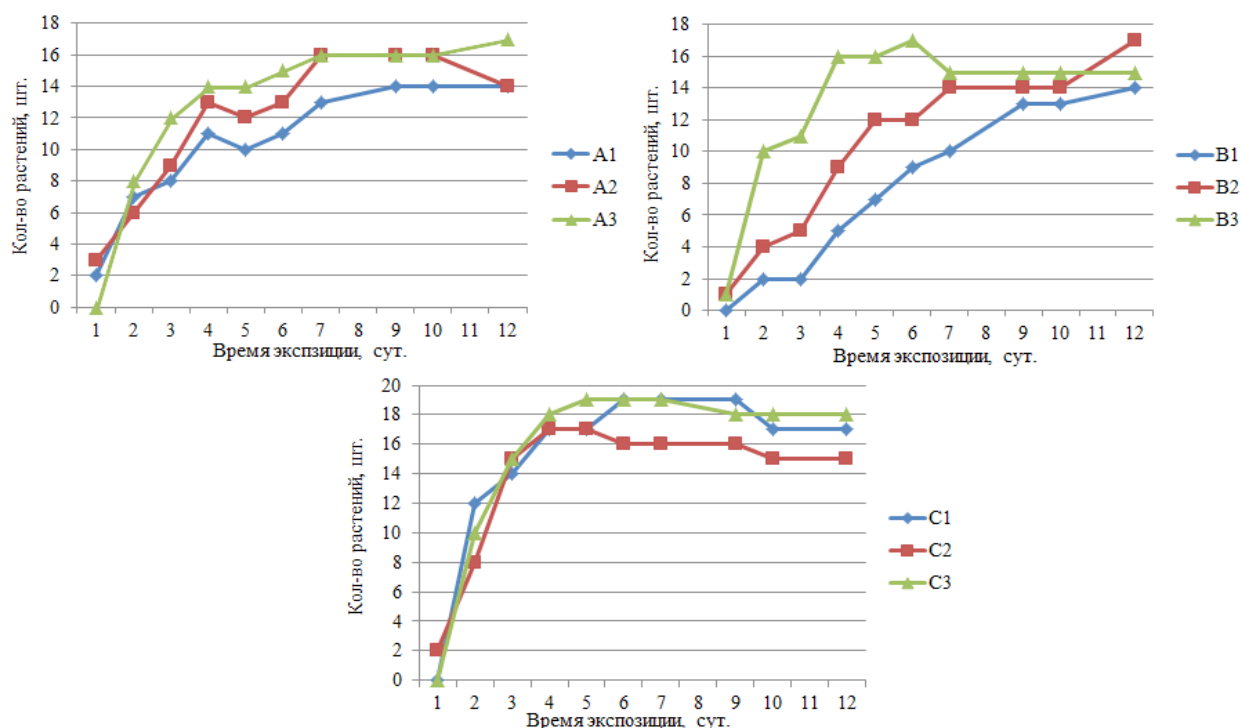


Рис. 2. Динамика выживания растений в различных вариантах эксперимента:

А – тонкодисперсная фракция отходов;

б) субстрат В – смесь тонкодисперсной фракции и вермикомпоста; в) субстрат С – вермикомпост

Примечание. 1 – полив водой (контрольная группа); 2 – обработка культуральной средой хлореллы и полив водой; 3 – обработка суспензией хлореллы и полив водой

Fig. 2. Dynamics of plant survival in various experimental variants

a) substrate A – finely dispersed fraction of waste;

b) substrate B – mixture of finely dispersed fraction and vermicompost; c) substrate C – vermicompost

Notes: 1 – watering with water (control group); 2 – treatment with chlorella culture medium and watering with water; 3 – treatment with chlorella suspension and watering with water

Таблица 2. Матрица балльной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки по показателю «выживание растений» на конец экспозиции эксперимента

Table 2. Matrix of the point assessment of the relative efficiency of combinations of the substrate and type of its treatment according to the indicator “plant survival” at the end of the experiment exposure

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>	С. Вермикомпост <i>Vermicompost</i>
1. Полив водой / <i>Watering with water</i>	1	1	2,67
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	1	2,67	2
3. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	2,67	2	3

	значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>
	значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>

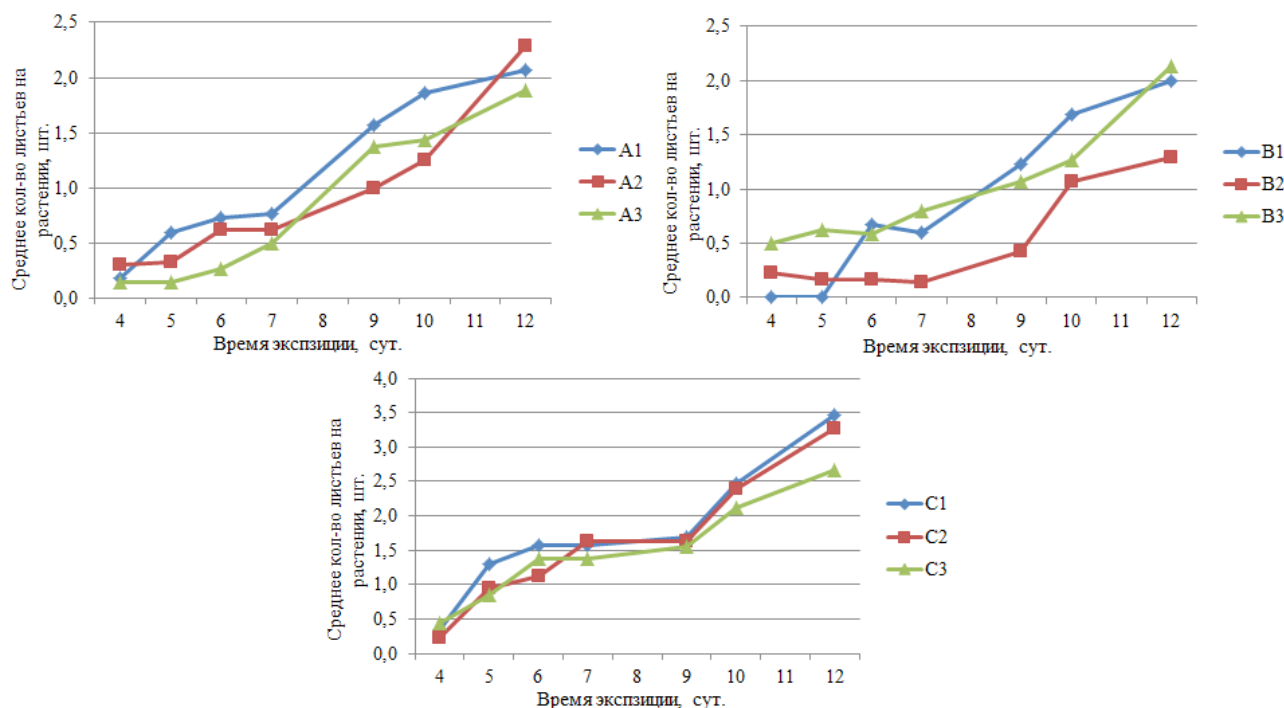


Рис. 3. Динамика формирования листьев в различных вариантах эксперимента:

а) субстрат А – тонкодисперсная фракция отходов;

б) субстрат В – смесь тонкодисперсной фракции и вермикомпоста; в) субстрат С – вермикомпост

Примечание. 1 – полив водой (контрольная группа); 2 – обработка культуральной средой хлореллы и полив водой; 3 – обработка суспензией хлореллы и полив водой

Fig. 3. Dynamics of leaves formation in various experimental variants

а) substrate А – finely dispersed fraction of waste;

б) substrate В – mixture of finely dispersed fraction and vermicompost; в) substrate С – vermicompost

Notes: 1 – watering with water (control group); 2 – treatment with chlorella culture medium and watering with water; 3 – treatment with chlorella suspension and watering with water

Результаты балльной оценки по показателю «Формирование листьев» на конец экспозиции эксперимента (12-й день) представлены в таблице 3.

Для комплексной оценки относительной эффективности вариантов сочетания субстрата и полива/подкормки был рассчитан средний

балл по всем критериям для всех сочетаний субстрата и вида его обработки (табл. 4).

Таким образом, наиболее эффективным для выращивания растений субстратом является вермикомпост, а обработка субстратов суспензией хлореллы стабильно повышает их эффективность.

Таблица 3. Матрица балльной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки по показателю «среднее количество листьев у растения»

Table 3. Matrix of point assessment of the relative efficiency of combinations of substrate and type of treatment by the indicator “average number of leaves in a plant”

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>	С. Вермикомпост <i>Vermicompost</i>
1. Полив водой / <i>Watering with water</i>	2	1	3
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	2	1	3
3. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	1	2	3

	значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>
	значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>

Таблица 4. Матрица комплексной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки

Table 4. Table 4. A matrix for a comprehensive assessment of the relative efficiency of substrate combinations and the type of its treatment

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>
1. Полив водой / <i>Watering with water</i>	1,3	1,0
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	1,7	1,6
3. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	1,9	2,1

	значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>
	значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>

Выводы

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Тонкодисперсная фракция отходов добычи известняка на исследованном карьере составляет около 5% от общего объема образующихся отходов. Отходы обуславливают экологические риски для окружающей среды, но они же могут рассматриваться и как сырье для новых циклов производства.

2. Тонкодисперсная взвесь карьера продемонстрировала удовлетворительные результаты в качестве субстрата (в чистом виде или в смеси) для роста тестируемых растений. Это обуславливается тем, что в ее состав входят вещества, содержащие кальций и магний, стимулирующие рост фотосинтезирующих клеток.

3. Вермикомпост, выращенный с использованием биомассы хлореллы, показал себя как наиболее эффективный субстрат для выращивания растений. Однако для его подготовки необходимы дополнительные ресурсы. Кроме того, при использовании вермикомпоста в чистом виде в качестве субстрата не решается задача переработки наиболее вредной фракции отходов известнякового карьера.

4. Наилучшие результаты для всех субстратов, участвовавших в эксперименте, достигаются

при добавлении в качестве подкормки суспензии хлореллы. В разрабатываемой авторами схеме замыкания технологических циклов хлорелла может выращиваться в безотходном цикле производства продукции крестьянского подворья, в том числе с использованием тонкодисперсных отходов карьера в качестве стимулятора роста биокультуры. Использование этого мелиоранта показало наиболее перспективные результаты в повышении плодородия созданного в процессе экспериментов почвогрунта.

5. На разных этапах жизненного цикла участвовавших в эксперименте растений (прорастание семян, формирование стебля, листьев) наилучшие результаты достигались при различном сочетании субстрата и обработки. В ходе дальнейших исследований планируется разработать схему внесения в создаваемый искусственный субстрат различных добавок, основанных на культуре одноклеточных водорослей и тонкодисперсной взвеси карьера.

6. Тонкодисперсные отходы известковых карьеров можно применять в качестве основы при создании искусственного субстрата как для выращивания сельскохозяйственных культур на местных крестьянских и фермерских подворьях, так и в ходе биологической рекультивации карьеров при создании объектов рекреационного, познавательного и спортивного туризма [13].

Список использованных источников

1. Zhang Y., Korkiala-Tanttu L., Borén M. Assessment for Sustainable Use of Quarry Fines as Pavement Construction Materials: Part II-Stabilization and Characterization of Quarry Fine Materials // Materials (Basel). 2019. 12 (15): 2450. DOI: 10.3390/ma12152450.
2. Sivrikaya O., Kiyıldı K.R., Karaca Z. Recycling waste from natural stone processing plants to stabilise clayey soil // Environmental Earth Sciences. 2014, 71(10), 4397-4407. DOI: 10.1007/s12665-013-2833-x
3. Medina G., Sáez del Bosque I.F., Frías M., Sánchez de Rojas M.I.; Medina C. Durability of new recycled granite quarry dust-bearing cements // Construction and Building Materials. 2018, 187, 414-425. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.134
4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. Gravity settlement of process water sources in opencast quarries/mines and resultant effects and the potential use of fines/dust in the environment // Сборник научных статей всероссийской научной конференции, посвященной 30-летию СНИЦ РАН и СВУ. Сочинский научно-исследовательский центр РАН. 2018. Сочи: Изд-во: ИП Кривлякин С.П. С. 206-213. EDN: YRTIZF
5. Рубанова Н.И. Креативная индустрия в действии: циркулярная экономика и преобразование нарушенных территорий в уникальные туристические объекты / Н.И. Рубанова, Н.К. Гудкова, Т.Л. Горбунова // Сборник статей I Международной научной конференции «Творчество и бизнес», 19-20 апреля 2024 г. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 348 с. EDN: KNDWCM
6. Ferreira S., Waygood C. South African case study on sediment control measure with use of silt traps in the coal

References

1. Zhang Y., Korkiala-Tanttu L., Borén M. Assessment for Sustainable Use of Quarry Fines as Pavement Construction Materials: Part II-Stabilization and Characterization of Quarry Fine Materials // Materials (Basel). 2019. 12 (15): 2450. DOI: 10.3390/ma12152450.
2. Sivrikaya O., Kiyıldı K.R., Karaca Z. Recycling waste from natural stone processing plants to stabilise clayey soil // Environmental Earth Sciences. 2014, 71(10), 4397-4407. DOI: 10.1007/s12665-013-2833-x
3. Medina G., Sáez del Bosque I.F., Frías M., Sánchez de Rojas M.I.; Medina C. Durability of new recycled granite quarry dust-bearing cements // Construction and Building Materials. 2018, 187, 414-425. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.134
4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. Gravity settlement of process water sources in opencast mines and resultant effects and the potential use of fines/dust in the environment // Collection of scientific articles of the All-Russian scientific conference dedicated to the 30th anniversary of the Russian Academy of Sciences and SSU. Sochi Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Sochi: Publishing house: IP Krivlyakin S.P. P. 206-213. EDN: YRTIZF
5. Rubanova N.I. The creative industry in action: circular economy and transformation of disturbed territories into unique tourist sites / N.I. Rubanova, N.K. Gudkova, T.L. Gorbunova // Collection of articles of the I International Scientific Conference "Creativity and Business", April 19-20, 2024 Rostov-on-Don: Southern Federal University. 348 p. EDN: KNDWCM
6. Ferreira S., Waygood C. South African case study on sediment control measure with use of silt traps in the coal

industry. Material of international mine water conference in South Africa. 2009. 10 p.

7. Горбунова Т.Л. Использование культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* в безотходном цикле производства первичной продукции традиционного крестьянского хозяйства с целью обеспечения его эффективности и экологичности, повышения уровня здоровья населения / Т.Л. Горбунова, Н.К. Гудкова, А.Л. Туманова, Н.И. Матова // Технологии живых систем. 2022. Т. 19, № 3. С. 73-81. DOI 10.18127/j20700997-202203-08. EDN ATFLTK.

8. Туманова А.Л., Миквабия З.Я. Организационно-экологические аспекты обеспечения устойчивого развития регионов. «ЭКОПОЛИС» в Абхазии как образец внедрения инновационных биотехнологий сохранения экологии рекреационных зон и здоровья человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10-1. С. 127-131.

9. Туманова А.Л. Медико-экологические факторы нарушения здоровья населения и инновационные методы их профилактики. Эксперимент по влиянию и отдаленным результатам применения профилактических хлорелловых напитков на организм приматов / А.Л. Туманова, З.Я. Миквабия, Л.О. Ахуба, Е.Р. Пачулия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10 (ч. 2). С. 307-312.

10. Han X., Rusconiy N., Ali P., Pagkatipunan K., Chen F. Nutrients extracted from chicken manure accelerate growth of microalga *Scenedesmus obliquus* HTB1 // Green Sustainable Chemistry. 2017. Vol. 7. Pp. 101-113. doi: 10.4236/gsc.2017.72009.

11. Liu Q., Wang J., Bai Z., Ma L., Oenema O. Global animal production and nitrogen and phosphorus flows // Soil Research. 2017. Vol. 55(6). Pp. 451-462. DOI: 10.1071/sr17031.

12. Аникина Е.А. Кресс-салат как тест – объект для оценки состояния почвы // Материалы Международного молодежного научного форума. Том Часть II. Ответственный редактор Шмакова А.П. Ульяновск: Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова. 2012. С. 8-13. EDN: UXNSMX

13. Васильев Н.В. Реабилитация антропогенных территорий как способ сохранения индустриального наследия // Баландинские чтения. 2020. Т. 15. С. 29-37. DOI 10.24411/9999-001A-2020-10004. EDN CPSFOK.

Об авторах

Татьяна Львовна Горбунова, научный сотрудник; WOS Research ID: J-3682-2018, Scopus AuthorID: 57202604976; ORCID: 0000-0003-3699-7159; SPIN-код: 8098-9077; AuthorID: 895972; tatianashaw@mail.ru

Наталья Константиновна Гудкова, канд. геол. – мин. наук, старший научный сотрудник; Scopus AuthorID: 57202603704; ORCID: 0000-0002-3299-7701; SPIN-код: 1324-0253; AuthorID: 635883; n.k.gud@yandex.ru

Наталья Ивановна Рубанова, канд. экон. наук, старший научный сотрудник; WOS Research ID: J-7241-2018, Scopus AuthorID: 57224404175; ORCID: 0000-0001-6084-6233; SPIN-код: 1544-3015; AuthorID: 467412; lej06@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Горбунова Т.Л., Гудкова Н.К., Рубанова Н.И. 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 interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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 25.06.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.02.2025

industry. Material of international mine water conference in South Africa. 2009. 10 p.

7. Gorbunova T.L. The use of *Chlorella vulgaris* microalgae culture in the waste-free cycle of primary production of traditional peasant farming in order to ensure its efficiency and environmental friendliness, improve public health / T.L. Gorbunova, N.K. Gudkova, A.L. Tumanova, N.I. Matova // Technologies of living systems. 2022. Vol. 19, No. 3. P. 73-81. DOI 10.18127/j20700997-202203-08. EDN ATFLTK.

8. Tumanova A.L., Mikvabiya Z.Ya. Organizational and environmental aspects of ensuring the sustainable development of regions. ECOPOLIS in Abkhazia as an example of the introduction of innovative biotechnologies to preserve the ecology of recreational areas and human health // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 10-1. P. 127-131.

9. Tumanova A.L. Medical and environmental factors of population health disorders and innovative methods of their prevention. Experiment on the effect and long-term results of the use of preventive chlorella drinks on the body of primates / A.L. Tumanova Z.Ya. Mikvabiya L.O. Akhuba E.R. Pachulia // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 10 (part 2). pp. 307-312.

10. Han X., Rusconiy N., Ali P., Pagkatipunan K., Chen F. Nutrients extracted from chicken manure accelerate growth of microalga *Scenedesmus obliquus* HTB1 // Green Sustainable Chemistry. 2017. Vol. 7. P. 101-113. doi: 10.4236/gsc.2017.72009.

11. Liu Q., Wang J., Bai Z., Ma L., Oenema O. Global animal production and nitrogen and phosphorus flows // Soil Research. 2017. Vol. 55(6). Pp. 451-462. DOI: 10.1071/sr17031.

12. Anikina E.A. Watercress as a test object for assessing soil condition // Proceedings of the International Youth Scientific Forum. Volume Part II. Responsible editor A.P. Shmakova Ulyanovsk: Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov. 2012. pp. 8-13. EDN: UXNSMX.

13. Vasiliev N.V. Rehabilitation of anthropogenic territories as a way to preserve industrial heritage // Balandinsky readings. 2020. Vol. 15. P. 29-37. DOI 10.24411/9999-001A-2020-10004. EDN CPSFOK

About the authors

Tatiana L. Gorbunova, Researcher; WOS Research ID: J-3682-2018, Scopus AuthorID: 57202604976; ORCID: 0000-0003-3699-7159; SPIN-remains: 8098-9077; AuthorID: 895972; tatianashaw@mail.ru

Natalia K. Gudkov, CSc (Geo-Mnerol), Senior Researcher; Scopus AuthorID: 57202603704; ORCID: 0000-0002-3299-7701; SPIN-remains: 1324-0253; AuthorID: 635883; n.k.gud@yandex.ru

Natalia I. Rubanova, CSc (ECO), Senior Researcher; WOS Research ID: J-7241-2018, Scopus AuthorID: 57224404175; ORCID: 0000-0001-6084-6233; SPIN-remains: 1544-3015; AuthorID: 467412; lej06@yandex.ru

Gorbunova T.L., Gudkova N.K., Rubanova N.I. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-60-67>
УДК 631.6:624.137:519.2



ВЕРОЯТНОСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОПОЛЗНЕВЫМ РИСКОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ

Д.И. Кацко

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (КубГАУ); 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13, Россия

Аннотация. Целью исследований явилась разработка оценки оползневой опасности, основанной на байесовской сети доверия. Выполнена оценка оползневого риска на базе систематического использования (после ливней, снегопадов и др. природных явлений) экспертных баз фрагментов знаний, реализованных в графических вероятностных моделях – байесовских сетях доверия (*Bayesian Belief Network – BBN*), позволяющих использовать объективные и субъективные оценки вероятностей и знания экспертов о структуре связей (зависимости и независимости) переменных, для управления неопределенностью и риском. Управление рисками при формировании мелиоративных систем предполагает использование различных детерминированных и вероятностных методов. Одна из важнейших процедур управления риском – его оценка. Опасные природные явления (оползни, сели, водная и ветровая эрозия, затопление, подтопление и размыв земель) могут угрожать жизни, здоровью населения и причинять значительный экономический ущерб. Ограничения ресурсов (временных, финансовых и др.) часто не позволяют проводить полноценный мониторинг и дополнительные исследования с использованием ГИС и других средств. Для минимизации рисков и своевременного принятия управленческих решений по защите людей и территорий требуется использовать методы и модели, основанные на знаниях экспертов (субъективные вероятностные оценки) о причинно-следственных связях и законах распределения интегральных характеристик проявления опасных природных явлений (например, в случае оползневой опасности – коэффициента устойчивости FS склона). В результате использования предложенной методики на реальном примере была получена вероятность оползня на разных этапах наблюдений за склоном. Предложенная идеология вероятностной оценки оползневого риска, опирающаяся на систематическое использование знаний экспертов в байесовских сетях доверия, хорошо себя проявила в рассматриваемом примере. Факторы, по которым оценивалась вероятность оползня, являются универсальными и могут быть использованы для оценки рисков на других участках, где развиваются склоновые процессы.

Ключевые слова: мелиорация земель, система, вероятностное мышление, управление риском, байесовские сети доверия, оползень, противооползневые мероприятия

Формат цитирования: Кацко И.Д. Вероятностное управление оползневым риском с использованием байесовских сетей доверия // Природообустройство. 2025. № 2. С. 60-67. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-60-67>

Scientific article

PROBABILISTIC LANDSLIDE RISK MANAGEMENT USING BAYESIAN BELIEF NETWORKS

D.I. Katsko

Russia Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; (KubGAU); 350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, Kalinin St., 13. Russia

Abstract. Development of a landslide hazard assessment based on a Bayesian belief network. **Methodology.** Landslide risk assessment with basic systematic use (after heavy rains, snowfalls, etc.) of expert fragments of basic knowledge implemented in graphical probabilistic models – Bayesian Belief Networks (BBN), resolved objective and selective probabilities and knowledge. We considered possible relationships (dependencies and independences) for uncertainty and risk management. **Results.** Risk management during the closure of drainage systems involves the use of various deterministic and probabilistic methods. One of the risk management procedures is its assessment. Hazardous natural phenomena (landslides, mudflows, water and wind erosion, flooding, waterlogging and land erosion) can threaten the lives and health of the population and lead to significant damage. Resource limitations (time, financial, etc.) often do not allow for full-fledged monitoring and additional research using GIS and other

means. To minimize risk and make timely management decisions to protect people and territories, it is necessary to use methods and models based on expert knowledge (subjective probabilistic assessments) about cause-and-effect relationships and distribution laws of integral characteristics of the manifestation of characteristic conditions (for example, in the case of landslide hazard – the slope stability coefficient FS). As a result of using the proposed methodology in the first example, restrictions were obtained that allow using different methods to maintain the slope. **Conclusions.** The proposed ideology of probabilistic landslide risk assessment based on the system of using expert knowledge in Bayesian belief networks is well applied in the context under consideration. The factors affected by the landslide zone are universal and can be used to assess risks in other areas where slope processes are developing.

Keywords: system, land reclamation, probabilistic thinking, risk management, Bayesian belief networks, landslide, anti-landslide measures

Format of citation: Katsko D.I. Probabilistic landslide risk management using bayesian belief networks // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 60-67. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-60-67>

Введение. Развитие технологий делает жизнь человека гораздо более комфортной, однако часто создание человеком новых ландшафтов требует формирования природоохранных сооружений. Тем самым реализуется понимание мелиорации как коренного долговременного улучшения не только неблагоприятных природно-климатических условий, но и негативного антропогенного воздействия на окружающую природу. Для обеспечения безопасности жизни человека и сооружений необходимы оценка и управление приемлемым уровнем риска новой и существующей инфраструктуры осваиваемых территорий, чему традиционно способствуют знания экспертов, вероятностные и статистические методы. Знания и их вероятностная оценка (как объективная, так и субъективная) являются основой формирования компетенций, которые могут использоваться в экспертных системах и отличаются: постоянством (в отличие от человеческих); легкостью передачи и воспроизведения; воспроизводимостью и стабильностью результатов; недорогой эксплуатацией.

Цель исследований: разработка оценки оползневой опасности, основанной на байесовской сети доверия.

Материалы и методы исследований. Объединение В.И. Ивоным различных мелиоративных мероприятий в общую теорию мелиоративных систем (ОТМС) позволяет говорить о новом этапе разработки методологии научных основ улучшения земель [1-3]. Принятие решений по формированию мелиоративных мероприятий всегда сопровождается рисками того, что они не позволят решать задачи по улучшению земель. В этом случае принято говорить о рисках принятия решений. В современной системной инженерии рассматриваются принципы вероятностного мышления, которые предлагается использовать при формировании мелиоративных систем [4-6]:

– формирование мелиоративных мероприятий осуществляется в сложной

природно-технической системе взаимосвязанных процессов (системный подход);

– реальные наблюдаемые процессы и их модели содержат неопределенность, которая может описываться субъективно (субъективная вероятность) или стохастическими моделями, призванными учесть общие причины вариаций, обусловленных ограниченностью точности параметров и условий процесса);

– вероятностное управление риском при формировании мелиоративных систем должно опираться на понимание и использование вариаций в процессе принятия решений.

Оценка риска для мелиоративных систем опирается [6]:

– на подход Бернулли, не предполагающий регулирования процесса, риск которого оценивается, и использующий вероятность риска как вероятностную оценку наступления опасного события (R_{norm}):

0,5-50/50

0,6-0,7 – возможно

0,7-0,8 – правдоподобно

0,8-0,9 – весьма правдоподобно

свыше 0,9 – почти наверняка

– подход Колумба, требующий детальной регулировки опасных участков, который можно представить в виде требования минимизации некой функции полезности:

$$U = \sum_{i=1}^n c_i p_i \rightarrow \min \quad (1)$$

где C_i – стоимость восстановительных работ, p_i – вероятность возникновения опасной ситуации на i -м участке; U (utility) – полезность, отражающая вероятностные потери (уровень финансового риска).

Байесовские вероятностные сети доверия как средство оценки риска. Основным современным логического вывода считаются правила «если..., то...», иллюстрирующие причинно-следственные связи. Пусть H – событие, заключающееся в том, что данная гипотеза верна, E – событие,

закрывающееся в том, что наступило определенное доказательство (свидетельство), которое может подтвердить правильность указанной гипотезы. Тогда формула Байеса примет вид:

$$P(H/E) = \frac{P(E/H)P(H)}{P(E/H)P(H) + P(E/\bar{H})P(\bar{H})}. \quad (2)$$

Она устанавливает связь гипотезы H и свидетельства E , и в то же время – свидетельства с неподтвержденной гипотезой $\bar{H}$. $P(H)$ – априорная вероятность гипотезы, известная до наступления события E .

Предполагается, что $P(H)$ и $P(E/H)$ находятся опытным или экспериментальным путем. В нашем случае свидетельства и их вероятностные оценки могут формироваться на основании данных текущего визуального осмотра природоохранных сооружений после наступления одного или нескольких событий, способствующих наступлению оползней.

Формулу Байеса обобщают на случай множества гипотез $(H_1, H_2, \dots, H_m)$ и множества свидетельств $(E_1, E_2, \dots, E_n)$.

Вероятности каждой из гипотез можно определить по формуле:

$$P(H_i/E_1E_2\dots E_n) = \frac{P(E_1E_2\dots E_n/H_i)P(H_i)}{\sum_{k=1}^m P(E_1E_2\dots E_n/H_k)P(H_k)}, \quad (3)$$

где $i=\overline{1,m}$.

Сложность формулы (3) заключается в необходимости знать все условные вероятности знаменателя, поэтому часто делается довольно сильное предположение о независимости свидетельств (подход называют как наивный Байес – *naïve Bayes*). Тогда формула приобретает вид:

$$P(H_i/E_1E_2\dots E_n) = \frac{P(E_1/H_k)P(E_2/H_i)\dots P(E_n/H_i)P(H_i)}{\sum_{k=1}^m P(E_1/H_k)P(E_2/H_k)\dots P(E_n/H_k)P(H_k)}. \quad (4)$$

Риск можно охарактеризовать как произведение вероятности возникновения опасности на ожидаемый ущерб [2]:

$$R(A) = P(A) \times Y(A),$$

где $P(A)$ – вероятностная оценка возникновения опасности; $Y(A)$ – ожидаемый ущерб.

Как известно, в современных научных исследованиях для управления риском предлагается использование формулы Байеса (4), позволяющей делать выводы «вперед и назад»: $B \rightarrow A$ или $P(A/B)$ и $A \rightarrow B$ или $P(B/A)$.

Оползневые события могут характеризоваться вероятностной оценкой воздействия факторов на элементы природно-технических систем.

Опираясь на мнения экспертов, взаимодействие элементов визуального обследования, можно сформировать таблицы априорных и условных вероятностей и представить их графически, в виде дерева, что позволяет сформировать априорные вероятности всех событий в сети [7].

Основная идея рассуждений в *байесовской сети доверия* (БСД) заключается в распространении (*propagation* – пропация) свидетельств, которые подаются на вход сети. БСД – это направленный ациклический граф, в котором количество состояний вершины равно произведению количества состояний всех ее родительских вершин [8, 9]:

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i / \text{parents}(X_i)). \quad (5)$$

Таким образом, в ациклическом графе, визуализирующем БСД, каждая вершина ставится в соответствие распределения условных вероятностей (тензор вероятностей). Это позволяет использовать вероятностные байесовские сети для решения задач диагностики – в частности, оценки рисков.

Системы, опирающиеся на правила в условиях неопределенности, часто приводят к неверным выводам. Нейронные сети – «черный ящик», что затрудняет выявление наиболее вероятного исхода, а также при этом не удастся выявить набор событий, доставляющих наиболее вероятный прогноз [8, 9]. Сегодня представляется, что байесовские сети позволяют моделировать закономерности взаимосвязи факторов защиты территорий от оползней и др. для управления вероятностной неопределенностью и риском.

Для реализации формулы Байеса в качестве факторов для оценки вероятности развития оползневых процессов предлагается рассматривать наиболее общие наблюдаемые факторы, состояние которых изменяется со временем: эрозия, механические повреждения склона, влажность грунта, наличие растительности, антропогенное воздействие [10-14]. Несмотря на то, что грунтовые условия, существующие гидротехнические сооружения, высота и крутизна склона также существенно влияют на его устойчивость, эти параметры неизменяемы во времени и способны повлиять лишь на первоначальную оценку устойчивости.

Результаты и их обсуждение. Анализ проблем управления риском формирования мелиоративных систем приводит к пониманию того, что их отдельные элементы отличаются по своим характеристикам и условиям окружающей среды, которые предполагались при анализе и проектировании. Поэтому общепринято, что традиционные детерминированные методы необходимо дополнять вероятностными. Вероятностные методы

дают средства количественной оценки рисков, позволяют принять меры по их снижению, а также дать оценку альтернативных решений при проектировании мелиоративных систем. Полностью избавиться от риска априори невозможно, но благодаря инструментам управления становится возможным существенно снизить как вероятность, так и урон, который может быть нанесен мелиоративной системе.

На основе причинных факторов была разработана байесовская сеть доверия (рис. 1) для визуального обследования (мониторинга) оползневых участков.

Это сеть с узлами принятия решений (*Investment*), узлами полезности и узлами со случайными переменными, которые на диаграмме часто называют вероятностными переменными (*Landslide*, *Erosion*, *Vegetation* и др.). Ребра, ведущие к узлам принятия решений, указывают на временную последовательность: ребро, ведущее от случайной переменной к переменной принятия решения, указывает на то, что значение случайной переменной известно на момент принятия решения, а ребро, ведущее от одной переменной принятия решения к другой, указывает на хронологическую последовательность соответствующих решений.

Сеть должна быть ациклической. Согласно исследованиям [15] в Краснодарском крае объем недополученной чистой прибыли (*Harv*) от реализации продукции с неиспользуемых земельных участков для последующего вовлечения их в сельскохозяйственный оборот может составлять около 47 тыс. руб. на 1 га.

Был рассмотрен участок, где проведено обследование (мониторинг) и посредством экспертного опроса дана оценка возможного ущерба территории ввиду оползневых процессов на склоне. Состояние склона оценивалось визуально по 5 показателям, приведенным далее. Рассмотрено несколько сценариев с инвестициями в виде противооползневых мероприятий на нескольких стадиях развития склоновых процессов.

Изначально на склоне образовалась оплывина, возникшая по причине таяния снега. Маломощный слой почвы глубиной до 1 м превратился в тестообразную массу и начал стекать вниз под влиянием собственного веса (рис. 2).

Для оценки развития последующих событий рассматривались следующие факторы: эрозия, механические повреждения склона, влажность грунта, наличие растительности, антропогенное воздействие. С использованием теории Байеса была дана вероятностная оценка того, что оползневые процессы будут развиваться. Например, с помощью экспертного опроса было сделано предположение того, что без противооползневых

мероприятий эрозия будет в дальнейшем прогрессировать на участке с вероятностью 20%, и через некоторое время – 71,6%, полученные в программе *Hugin Expert*. (В статье используется понятие «модельного времени», где t – текущее наблюдение; $t + 1$ – следующее наблюдение.)

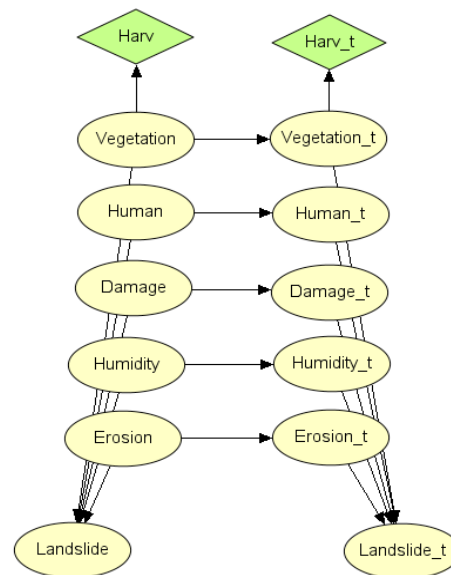


Рис. 1. Байесовская сеть доверия:

Erosion – эрозионные процессы в виде размыва почвы, образования борозд, промоин, оврагов, речных долин;

Vegetation – нарушение растительности («пьяный лес», оголение почвы, повреждение корневой системы, изменение типов растительности, образование участков без растительности);

Humidity – увеличение влажности грунта (изменение УГВ, избыточные осадки, интенсивное таяние снега, паводки, ослабление грунтовых масс);

Damage – механические повреждения и деформации склона (трещины, просадки, оплывины, вывал грунта, выпор грунта, осыпи, небольшие оползневые подвижки);

Human – изменение естественного состояния склона ввиду деятельности человека (пригрузка на верховом склоне, изменение рельефа,

изменение естественного водостока, использование химических веществ, вследствие чего ухудшается состояние почвы и др., при инвестициях подразумеваются противооползневые мероприятия);

Harv – доход от сбора урожая;

Landslide – оползневые процессы;

Investment – узел принятия решений в виде противооползневых мероприятий;

Cost – стоимость противооползневых мероприятий;

Erosion_t, Vegetation_t, Humidity_t, Damage_t, Human_t, Landslide_t, Harv_t,

Cost_t – то же в течение нескольких лет

Fig. 1. Bayesian belief networks



Рис. 2. Первоначальное состояние склона

Fig. 2. Initial slope condition

Чтобы определить вероятность оползня, также необходимо было задать степень влияния факторов на вероятность этого события. Соответствующие данные вносились в программный комплекс *Hugin Expert*, где была построена байесовская сеть доверия (рис. 3).

Таким образом, видим, что вероятность оползня в течение года – $P(L) = 29,75\%$, а вероятность оползня в течение ближайших нескольких лет – $P(L_t) = 65,28\%$. Однако байесовский подход позволяет пересчитать вероятность с изменением или добавлением новой информации. Для принятия возможных наилучших решений узлы полезности функции связаны с различными состояниями сети. Принимая решения об инвестициях, мы влияем на вероятности конфигураций. Таким образом, мы можем вычислить ожидаемую полезность каждого альтернативного решения (глобальная функция полезности представляет собой сумму всех локальных функций полезности).

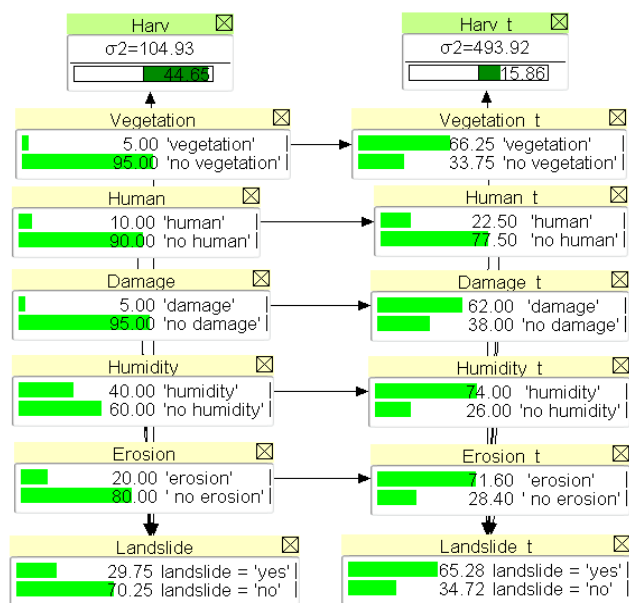


Рис. 3. Байесовская сеть доверия. Состояние 1

Fig. 3. Bayesian belief networks. State 1

Мы выберем альтернативу с наибольшей ожидаемой полезностью, что называется принципом максимальной ожидаемой полезности.

Предполагалось, что будет проведено укрепление склона в виде высадки растительности с гидропосевом, устройством противоэрозионного покрытия и системы дренажа (открытые водостоки и каптажи). Тогда эрозия и переувлажненный грунт не будут оказывать негативного влияния на склон. Таким образом, вероятность оползня снизится до $P(L) = 7,30\%$ и $P(L_t) = 2,91\%$ (рис. 4). Однако на рассматриваемом участке не были проведены своевременные противоэрозионные и дренажные работы. В результате переувлажнения прочность грунта снизилась, начались оползневые

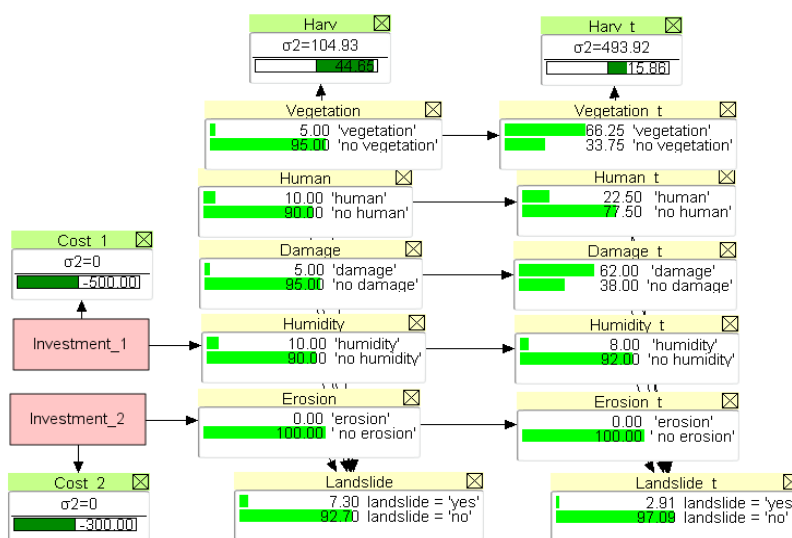


Рис. 4. Байесовская сеть доверия. Состояние 2

Fig. 4. Bayesian belief networks. State 2

подвижки, растительность была уничтожена, что привело к еще большей водонасыщенности грунтов после дождя. Все эти события взаимосвязаны и имеют кумулятивный эффект. В результате образовалась огромная промоина (рис. 5).

С ухудшением состояния рассматриваемого участка произошло перераспределение вероятностей (рис. 6).

Нарушение растительности и развитие эрозии будут составлять около 100%. В таком случае вероятность оползня – $P(L) = 60,15\%$ и $P(L_t) = 74,51\%$.

На данном этапе была построена подпорная стена (рис. 7), которая частично улучшает ситуацию, воспринимая активное давление в низовой части склона, но смещение грунтовой массы по поверхности продолжается. Итак, вероятности опять перераспределяются (рис. 8): $P(L) = 24,82\%$, $P(L_t) = 27,45\%$.



Рис. 6. Байесовская сеть доверия. Состояние 3

Fig. 6. Bayesian belief networks. State 3



Рис. 5. Образование на склоне промоины

Fig. 5. The formation of a washout on the slope



Рис. 7. Подпорная стена

Fig. 7. Retaining wall

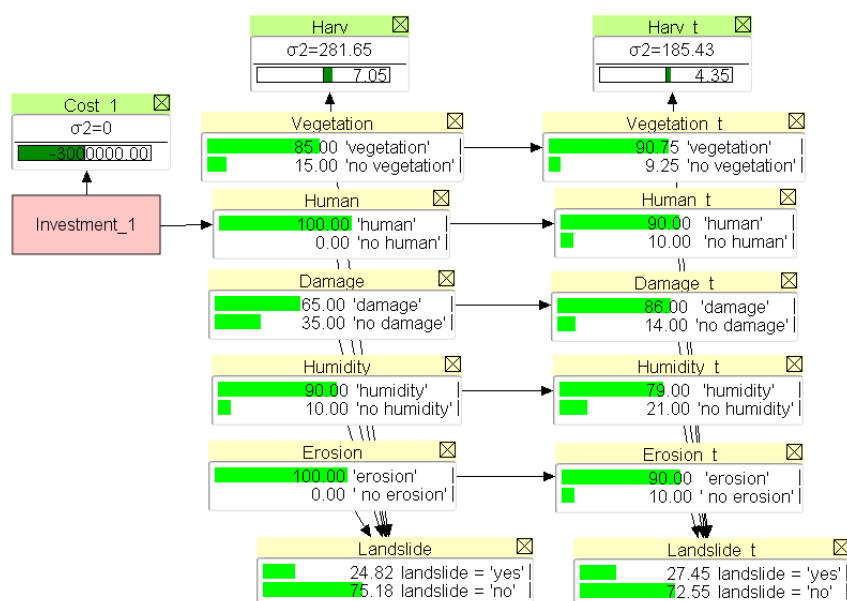


Рис. 8. Байесовская сеть доверия. Состояние 4

Fig. 8. Bayesian belief networks. State 4

Однако для полной ликвидации склоновых процессов все еще необходимы устройство дренажа и противоэрозионного покрытия, а также террасирование или замена

грунта на более прочный. Таким образом, вероятность оползня будет составлять: $P(L) = 7,66\%$, и через некоторое время – $P(L_t) = 8,83\%$ (рис. 9).

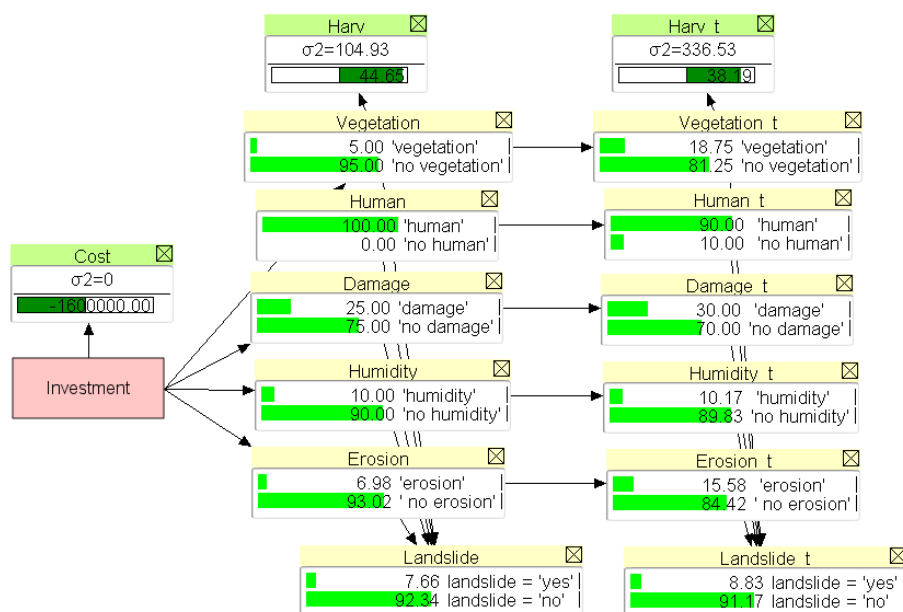


Рис. 9. Байесовская сеть доверия. Состояние 5

Fig. 9. Bayesian belief networks. State 5

Выводы

Высокая вероятность возникновения опасных факторов, влекущих за собой разрушение природоохранных систем и окружающих территорий, требует разработки мероприятий по управлению риском. Шкалирование риска может осуществляться в качественной шкале, которой можно поставить в соответствие количественную шкалу: недопустимый риск (вероятность возникновения опасных факторов и последствий свыше 0,7); допустимый риск (оправданный риск, не предусматривающий расходы на снижение в будущем от 0,5 до 0,7); толерантный риск (с которым общество живет, так как

гарантируются определенные выгоды, но с уверенностью, что он будет контролироваться, пересматриваться и, возможно, снижаться, – менее 0,5).

Полностью избавиться от риска при формировании и функционировании природоохранных систем и защите территорий от оползневых явлений невозможно, но благодаря вероятностной оценке наступления риска становится возможным управление риском, позволяющее снизить как вероятность, так и ожидаемый ущерб. В исследованиях для оценки оползневого риска было предложено и реализовано использование байесовской сети доверия.

Список использованных источников

1. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1989. 367 с.
2. Семечкин А.Е. Системный анализ и системотехника. М.: SvS-Аргус, 2005. 536 с.
3. Ивонин В.М. Мелиоративные системы: основы общей теории // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 119-140.
4. Безуглова Е.В. Оползневой риск транспортных природно-технических систем: Монография / Е.В. Безуглова, С.И. Матсий, В.В. Подтелков. Краснодар: КубГАУ, 2015. С. 124-140.
5. Кузнецов Е.В. Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов: Учебное пособие / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди. СПб.: Лань, 2022. 300 с.

References

1. Peregudov F.I. Introduction to system analysis: A textbook for universities. Moscow: Higher School. 1989. 367 p.
2. Semechkin A.E. System analysis and system engineering. Moscow: SvS-Argus, 2005. 536 p.
3. Ivonin V.M. Meliorative systems: fundamentals of general theory // Melioration and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12, No. 1. P. 119-140.
4. Bezuglova E.V. Landslide risk of transport natural and technical systems: a monograph / E.V. Bezuglova, S.I. Matsi, V.V. Podtelkov. Krasnodar: KubGAU, 2015. pp. 124-140.
5. Kuznetsov E.V. Agricultural reclamation complex for sustainable development of agrolandscapes: a textbook / E.V. Kuznetsov, A.E. Khadjidi. St. Petersburg: Lan, 2022. 300 p.

6. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. Изд. 2-е. СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2006. 530 с.

7. Кацко Д.И. Вариативные подходы к оценке и управлению оползневым риском транспортных систем. / Д.И. Кацко, В.С. Маций / IV Международная научно-практическая молодежная конференция по геотехнике: сборник материалов / отв. ред. Я.А. Пронозин. Тюмень: ТИУ, 2018. С. 47-51.

8. HUGIN EXPERT. Web: The HUGIN Graphical User Interface – HUGIN GUI 9.5 documentation.

9. Сукар Л. Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения: Пер. с англ. А.В. Снастина. М.: ДМК Пресс, 2021. 338 с.

10. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства: Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.

11. Костяков А.Н. Основы мелиорации. 6-е изд. М.: Сельхозиздат, 1960. 622 с.

12. Рекс Л.М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. М.: «Аслан», 1995. 192 с.

13. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв: Учебник. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГУ, 1996. 382 с.

14. Мелиорация земель: Учебник / Под ред. А.И. Голованова. СПб.: Изд-во «Лань», 2015. 816 с.

15. Increasing the efficiency of land use as a condition of ensuring sustainable development of rural areas / E. Artemova, G. Barsukova, D. Derevenets E3S Web of Conf., 510 (2024) 01042.

6. Solozhentsev E.D. Scenario-based logical and probabilistic risk management in business and technology. 2nd ed., St. Petersburg: Publishing House "Business Press", 2006. 530 p.

7. Katsko D.I. Variable approaches to the assessment and management of landslide risk of transport systems. / D.I. Katsko, V.S. Matsii. – IV International Scientific and Practical Youth Conference on Geotechnics: collection of materials / ed. by Ya.A. Pronozin. Tyumen: TIU, 2018. P. 47-51.

8. HUGIN EXPERT. Web: The HUGIN Graphical User Interface – HUGIN GUI 9.5 documentation.

9. Sukar L. Probabilistic graph models. Principles and applications / translated from English by A.V. Snastin. Moscow: DMK Press, 2021. 338 p.

10. Maslov N.N. Soil mechanics in construction practice. Textbook. Moscow: Stroyizdat, 1977. 320 p.

11. Kostyakov A.N. Fundamentals of land reclamation. 6th ed., Moscow: Agricultural Publishing House. 1960. 622 p.

12. Rex L.M. System research of meliorative processes and systems. Moscow: Aslan. 1995. 192 p.

13. Seidelman F.R. Soil reclamation. Textbook. 2nd ed. M.: Publishing House of Moscow State University, 1996. 382 p.

14. Land reclamation. Textbook. / Edited by A.I. Golovanova / St. Petersburg, publishing house "Lan". 2015. 816 p.

15. Improving the efficiency of land use as a condition for ensuring sustainable rural development / E. Artemova, G. Barsukova, D. Derevenets E3S Web Conference, 510 (2024) 01042.

Об авторе

Дмитрий Игоревич Кацко, аспирант факультета гидромелиорации; ORCID iD: 0009-0001-8484-159X; SPIN-код: 4928-1689; katsko99@mail.ru

Information about the authors

Dmitry I. Katsko, post graduate student of the faculty of hydro reclamation; ORCID ID: 0009-0001-8484-159X; SPIN-code: 4928-1689; katsko99@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Кацко Д.И. выполнил теоретические и практические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.01.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 12.03.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 12.03.2025

D.I. Katsko carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. He has a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-68-76>

УДК 626.87: 628.472.3: 504.062



ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТРАБОТАННЫХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ СТИХИЙНЫХ СВАЛОК И «ПОЛИГОНОВ» ТКО НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В.И. Сметанин

ФНЦ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. Целью исследований является поиск путей снижения негативного воздействия отработанных свалок и «полигонов» ТКО на окружающую среду. Проблема отходов – одна из самых актуальных в современности: спрос рождает производство, а потребление – отходы. В 2024 г. в России начали работу 100 объектов обработки и утилизации ТКО общей мощностью более 13 млн т, а около 40 млн т ТКО захоронены на свалках и полигонах. Не меньшую проблему представляют ТКО прошлых лет, размещенные на свалках и «полигонах» ТКО. Только в Москве насчитывается более 200 таких свалок, а в близлежащем Подмоскovie земли, нарушенные ТКО прошлых лет, составляют тысячи гектаров. Подобные территории нуждаются в выполнении работ по снижению их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Ключевые слова: рекультивация, нарушенные земли, ТКО, отработанные свалки, источники распространения загрязняющих веществ, природная среда, фильтрат, биогаз, экомониторинг

Формат цитирования: Сметанин В.И. Оценка негативного воздействия отработанных несанкционированных стихийных свалок и «полигонов» ТКО на окружающую среду // Природообустройство. 2025. № 2. С.68-76. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-68-76>

Scientific article

ASSESSMENT OF THE NEGATIVE IMPACT OF SPENT UNAUTHORIZED, SPONTANEOUS LANDFILLS AND MSW “LANDFILLS” ON THE ENVIRONMENT

V.I. Smetanin

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

Abstract The purpose of the study is to find ways to reduce the negative impact of spent landfills and MSW landfills on the environment. The problem of waste is one of the most pressing problems of our time, demand gives rise to production, and consumption is waste. In 2024, one hundred MSW treatment and disposal facilities with a total capacity of more than 13 million tons began operating in Russia, and about 40 million tons of MSW were buried in landfills and “landfills”. Such areas need to be carried out to reduce their negative impact on the environment and human health.

Keywords: reclamation, disturbed lands, MSW, spent landfills, sources of pollutant distribution, natural environment, leachate, biogas, environmental monitoring

Format of citation: Smetanin V.I. Assessment of the negative impact of spent unauthorized, spontaneous landfills and MSW “landfills” on the environment // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 68-76. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-68-76>

Введение. Места захоронения отходов – это импактные источники распространения загрязняющих веществ в окружающую среду. Наиболее опасными считаются так называемые несанкционированные стихийные свалки и условно называемые «полигоны» ТБО (ТКО),

которые в большей своей части не соответствовали нормативным природоохранным требованиям. С целью снижения негативного воздействия отходов на окружающую среду в системе управления отходами построены так называемые мусороперегрузочные станции, на которых мусор

проходит либо ручную, либо механическую сортировку, и после отбора полезных (утилизируемых) фракций отсеб (неутилизируемые фракции) проходит механическое измельчение, уплотнение и ламинирование полиэтиленовой пленкой. Полезные фракции отправляются на переработку, отсеб – для захоронения на полигон ТКО. Для безопасного размещения неутилизируемой части отходов должны быть построены новые полигоны ТКО либо реконструированы существующие, отвечающие современным требованиям ФЗ «Об охране окружающей среды» и «Об отходах производства и потребления» [1-3].

Цель исследований: обоснование инженерных решений, направленных на снижение негативного воздействия отработанных «полигонов» ТКО, несанкционированных и стихийных свалок на окружающую среду и здоровье человека.

Материалы и методы исследований. Любая свалка является резкой техногенной геохимической аномалией [4].

Свалки, представляя собой сосредоточенные (импактные) источники распространения загрязняющих веществ, оказывают негативное воздействие на компоненты природной среды, и опосредованно – на окружающую среду и здоровье человека. В качестве основных переносчиков загрязняющих веществ в сложившихся природно-техногенных ландшафтах служат влага и ветер. В гумидной зоне преобладающим мигрантом загрязняющих веществ является влага, формируемая из атмосферных осадков и влаги, содержащейся в самих отходах и образующейся за счет деструкции органического вещества. В соответствии с водным балансом атмосферные осадки, выпадая на поверхность свалочного тела, частично испаряются, частично просачиваются в свалочное тело, постепенно увлажняя отходы, а часть скапливается на поверхности свалочного тела.

По мере насыщения отходов влагой она инфильтрует в глубь свалочного тела, попутно насыщаясь поллютантами, скапливается в придонной зоне, образуя фильтрат. Формируется внутрисвалочный техногенный водоносный горизонт, насыщенный фильтратом. По мере накопления фильтрат через основание свалочного тела разгружается в горные породы зоны аэрации, загрязняет их и достигает естественного водоносного горизонта, загрязняет грунтовые воды. В местах разгрузки загрязненных подземных вод в местную гидрографическую сеть происходит загрязнение водных объектов. Та часть атмосферных осадков, которая не просочилась в отходы,

собирается на поверхности свалочного тела, образуя загрязненный поверхностный сток, постепенно стекающий на рельеф, загрязняет почву на прилегающей территории и поверхностные водотоки [4-6].

В зависимости от инфильтрационных процессов в свалочном теле формируются аэробная и анаэробная зоны. Для каждой зоны характерны соответствующие биохимические процессы.

В аэробной зоне свалочного тела целлюлоза окисляется до получения углекислого газа и воды с выделением 2796 кДж тепла на 1 моль глюкозы – составной части целлюлозы под влиянием жизнедеятельности соответствующих бактерий и микроорганизмов.

В анаэробной зоне свалочного тела 50% углерода целлюлозы окисляется до углекислого газа, а 50% восстанавливается до метана с выделением 238,6 кДж тепла на 1 моль глюкозы. При этом этиловый спирт превращается в уксусную кислоту и углекислый газ, а уксусная кислота – в углекислый газ и метан под влиянием жизнедеятельности метанообразующих бактерий и микроорганизмов [4, 6].

Таким образом, в процессе эмиссии из толщ свалочного тела на поверхность формируется негативное воздействие на атмосферный воздух в приземном слое как на территории размещения свалочного тела, так и в пределах санитарно-защитной зоны.

Поверхностный сток, стекающий с поверхности свалочного тела, в своем составе также несет загрязняющие вещества. При стекании поверхностного стока с поверхности свалочного тела по рельефу происходит загрязнение почвы, а при поступлении его в водные объекты – ухудшение качества воды и загрязнение донных отложений.

На свалках часто происходят пожары. Этому способствуют биотермические процессы саморазогрева свалочной массы аэробной зоны и человеческий фактор, причем горит как сам мусор, так и выделяющийся из свалочного тела биогаз с образованием других, более токсичных отравляющих химических веществ [3].

Результаты и их обсуждение. В зависимости от направления последующего целевого использования территорий, занятых под размещение отходов, принимают те или иные технические решения по их рекультивации. После рекультивации территории могут быть использованы под жилую застройку, для создания коммунальной или промышленной зон, а также для дорог, площадок и рекреационных целей [7-9].

Последующее целевое использование территории определяет объемы работ по рекультивации с учетом всех неблагоприятных факторов: с полным и частичным удалением свалочного грунта и заменой его нормативно чистым минеральным грунтом или без удаления, но с проведением работ по устранению или снижению негативного воздействия отходов на окружающую среду [7-9].

Одним из многих методов локализации и предотвращения распространения загрязняющих веществ можно считать капсулирование отходов, позволяющее исключить эмиссию загрязняющих веществ в компоненты природной среды, предотвратить такую опасность, как загрязнение прилегающих земель, поверхностных и подземных вод, снизить загазованность атмосферного воздуха и др.

Составные элементы капсулы – герметичное основание, непроницаемые вертикальные стены и плотная заделка поверхности свалки с элементами дегазации (принцип «кастрюли-сковарки» с клапаном-сапуном в крышке).

В качестве герметичных оснований рассматривают естественные геохимические барьеры в виде практически непроницаемых слоев глины или суглинка с $K_f \leq 1 \times 10^{-7}$ м/с. Герметичные вертикальные стенки выполняют методом «Стена в грунте» с заполнением их смесью бентонита с цементом и специальными присадками, позволяющими создать практически их водонепроницаемыми. Метод капсулирования наиболее эффективен при неглубоком залегании водоупора в основании свалочного тела.

Как отмечалось выше, основным мигрантом распространения загрязняющих веществ служат влага, поступающая с поверхности свалочного тела, и поверхностный сток с прилегающих территорий. В связи с этим для уменьшения миграционной способности часто выполняют экранирование поверхности свалочного тела и отвод поверхностного стока. Исключив инфильтрационное питание свалочного тела, тем самым можно предотвратить миграцию загрязняющих веществ из свалочного тела в компоненты природной среды. В 1998 г. для локализации и предотвращения распространения загрязняющих веществ достаточно эффективно было применено устройство многослойного противофильтрационного экрана (покрытия) по верху свалочного тела, прокладка нагорно-ловчего и водоотводного каналов на объекте рекультивации несанкционированной свалки на бывшей территории промзоны завода Акрихин, пос. Купавна в Московской области.

При реабилитации подобных участков методом экранирования оценивали степень защищенности грунтовых вод от загрязнения их фильтратом. В качестве количественной оценки защищенности грунтовых вод от локального загрязнения был принят отрезок времени (в годах), в течение которого несорбируемый загрязнитель проникнет через горные породы зоны аэрации до уровня грунтовых вод [5]:

$$T = 40/W \cdot m(K_f)^{-1/n}, \quad (1)$$

где T – время, в течение которого несорбируемый загрязнитель проникнет через горные породы зоны аэрации до уровня грунтовых вод, год; W – интенсивность инфильтрационного питания, мм/год; m – мощность зоны аэрации, м; K_f – коэффициент фильтрации, м/сут.; n – безразмерный показатель степени, учитывающий принятую модель влагопереноса (для песков $n = 3,6$).

При уменьшении интенсивности водного питания защищенность грунтовых вод возрастает при $W \rightarrow 0$, можно достичь практически полной защиты грунтовых вод от воздействия на них локального источника распространения загрязняющих веществ. Поэтому защитные экраны, устраиваемые по верху свалочного грунта, являются основными элементами, выполняющими главную природоохранную функцию в сочетании с оградительной сетью. Конструкция защитных экранов представляет собой комбинацию изолирующих и фильтрующих элементов, позволяющих собирать и отводить просачивающиеся атмосферные осадки в систему ливневой канализации [5].

Для отвода грунтового и поверхностного стоков, поступающих с вышеперечисленных участков относительно свалочного тела, на техническом этапе рекультивации выполняют строительство нагорно-ловчего и водоотводного каналов с утилизацией сточных вод в поглощающие колодцы.

Как отмечалось выше, при наличии «активного» органического вещества в свалочном теле протекают биотермические процессы разложения органического вещества с преобладающим выделением метана в анаэробной зоне и диоксида углерода – в аэробной зоне свалочного тела. В зависимости от потенциальных запасов и интенсивности выхода биогаза на поверхность свалочного тела проводят пассивную или активную дегазацию. Однако, как правило, потенциальные запасы биогаза являются незначительными, и использование его в энергетических целях неэффективно, поэтому применяют пассивную дегазацию. В связи с этим в составе технического этапа рекультивации устраивают

газосборные скважины, из которых биогаз отводят в атмосферный воздух. Вначале бурят скважины с обсадной трубой диаметром Ø350 мм на всю глубину свалочного тела. Внутри пробуренной обсадной трубы вставляют трубу диаметром Ø168 мм. В нижней сплошной ее части устраивают отстойник высотой 3 м, выше отстойника – фильтровое звено с продольной перфорацией высотой, равной толще свалочного тела минус 1 м от гребня свалочного тела. Снаружи фильтровое звено обмотано фильтровой нержавеющей сеткой. Выше перфорированного звена проходит гладкая неперфорированная (целиковая) труба того же диаметра (Ø168 мм) на высоту, 2 м выше дневной поверхности финального перекрытия свалочного тела. После установки газосборной скважины образованное пространство между обсадной трубой и газоотводящей скважиной постепенно засыпают гравием и по мере обсыпки извлекают обсадную трубу. Вокруг устья газоотводящей скважины устраивают бетонную отмостку размером в плане $0,5 \times 0,5$ м, толщиной 0,5 м. Каждая скважина оборудуется оголовком, выполняемым в виде «грибка». Технический этап рекультивации несанкционированных свалок завершается созданием рекультивационного слоя [5].

В биологический этап рекультивации включают мероприятия, направленные на реабилитацию и восстановление земель, выполняемые вслед за нанесением почвенного слоя, возделыванием однолетних и многолетних травосмесей с неглубокой корневой системой. Продолжительность биологического этапа рекультивации обычно составляет от 2 до 5 лет в зависимости от климатических условий и степени загрязнения реабилитируемого участка [5].

Для продления эксплуатации выработавших проектный срок эксплуатации подобных сооружений разработан способ реконструкции существующих свалок посредством переустройства их в инженерно-экологические сооружения, обеспечивающие минимизацию негативного воздействия отходов ТКО на окружающую среду (рис. 1) [10]. Для этого выполняется вертикальная планировка гребня свалочного тела из старых ТКО и прирезаемого участка с уклоном ($i = 0,002 \dots 0,003$) в сторону вновь развиваемого участка складирования ТКО. Далее по низовому контуру спланированного прирезанного или расширенного участка возводят дамбу высотой, на 0,5 м выше возможного уровня внутрисвалочных техногенных вод, из грунтов вертикальной планировки прирезаемого или расширяемого участка. Далее, по спланированным

поверхностям свалочного тела прошлых лет ТКО, прирезаемого или расширяемого участка, внутреннему откосу и гребню ограждающей дамбы сооружают противифльтрационный экран, образующий внутрисвалочный накопитель фильтрата, оборудованный дренажными трубами, уложенными по внутреннему откосу дамбы с уклоном в сторону устьевой трубы, соединяющей дренажные трубы с внешним резервуаром накопителем фильтрата [10].

Данная конструкция позволяет в процессе эксплуатации защитить отходы прошлых лет от проникновения влаги и перенаправить ее во вновь размещаемые отходы.

Образующаяся влага по спланированной поверхности в основании формируемого участка складирования отходов, покрытого геосинтетическим экраном, поступает во внутрисвалочный накопитель, из которого по системе дренажных труб перетекает во внешний накопитель. Из него по мере наполнения фильтрат периодически откачивается на внутриплощадочные или городские очистные сооружения. Уровень фильтрата во внешнем накопителе должен быть всегда ниже отметки устьевой трубы. После заполнения полигона до проектной отметки его закрывают в соответствии с установленными нормативными документами [1, 2]. Учитывая масштабы и степень загрязнения природной среды, при реабилитации нарушенных земель отходами производства и потребления в состав работ необходимо включать экологический мониторинг.

В состав мониторинга включают оценку воздействия отходов на изменение показателей качества атмосферного воздуха, поверхностных и грунтовых вод, почвы и донных отложений.

Качество атмосферного воздуха оценивают по границе санитарно-защитной зоны рекультивируемой территории в точках, отстоящих на расстоянии до 500 м и расположенных по направлению преобладающих ветров с наветренной и подветренной сторон источника распространения загрязнений. Для измерения концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха применяют газоанализатор – многокомпонентный МЛП-6 ПК, предназначенный для измерения объемной доли метана, массовой концентрации оксида углерода, диоксида серы, диоксида азота. Для измерения концентрации взвешенных веществ применяют анализатор пыли «Атмас» [11].

Воздействие отходов на атмосферный воздух оценивают по результатам физических измерений идентифицированных загрязнителей с их ПДК для приземной зоны.

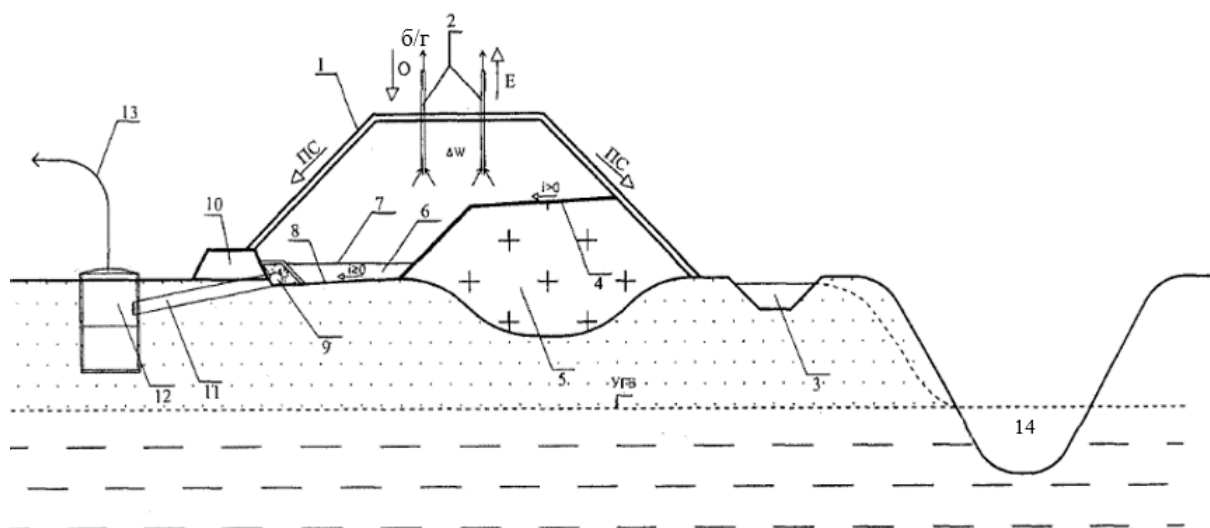


Рис. 1. Реконструкция существующих свалок посредством переустройства в инженерные экологические сооружения [10]:

- 1 – свалочное тело последующих лет эксплуатации после реконструкции полигона;
 2 – система дегазации свалочного тела; 3 – канал для отвода поверхностных вод;
 4 – противифльтрационный экран, уложенный по верху отходов прошлых лет; 5 – отходы прошлых лет;
 6 – фильтрат; 7 – внутриполигонный накопитель фильтрата; 8 – экранированное основание полигона;
 9 – дренажи-собиратели с гравийно-песчаной обсыпкой, выполненной по методу обратного фильтра;
 10 – грунтовая дамба обвалования новой отвальной части полигона; 11 – устьевая труба;
 12 – внешний накопитель фильтрата; 13 – направление удаления фильтрата; 14 – водный объект;
 (O) – осадки; (б/г) – биогаз; (E) – испарение; ПС – поверхностный сток; (ΔW) – дополнительная влага от деструкции органических отходов; $\frac{i}{\rightarrow}$ – направление уклонов укладки противифльтрационных экранов

Fig. 1. Reconstruction of existing landfills by means of rearrangement into engineering environmental structures [10]:

- 1 – landfill body of the next years of operation after the reconstruction of the landfill; 2 – landfill body degassing system;
 3 – channel for surface water drainage; 4 – impervious screen laid on top of the waste of previous years;
 5 – waste from previous years; 6 – filtrate; 7 – in-polygon leachate storage; 8 – shielded polygon base;
 9 – collector drains with gravel-sand sprinkling, made by the method of reverse filter;
 10 – soil dam of the embankment of the new dump part of the landfill; 11 – wellhead pipe;
 12 – external filtrate storage tank; 13 – direction of leachate removal; 14 – water body; (O) – precipitation;
 (b/g) – biogas; (E) – evaporation; PS – surface runoff; (ΔW) – additional moisture from the destruction of organic waste;
 $\frac{i}{\rightarrow}$ – direction of slopes of laying of impervious screens

Степень воздействия отходов на приземный слой атмосферного воздуха –

$$Z1 = 1 / n \left(\frac{C_{n=1}}{\text{ПДК}_{n=1}} 1 + \dots + \frac{C_{n=j}}{\text{ПДК}_{n=j}} j \right), \quad (2)$$

где $Z1$ – степень воздействия отходов на приземный слой атмосферного воздуха в зоне исследуемого участка; n – общее число ингредиентов, идентифицированных в пробах приземной зоны атмосферного воздуха, шт.; j – порядковый номер j -го ингредиента, идентифицированного в пробах приземной зоны атмосферного воздуха, $j=1, 2, \dots, n$; $C_{n=1}, \dots, C_{n=j}$ – измеренные концентрации метана, оксида углерода, диоксида серы, диоксида азота, концентрации взвешенных веществ, мг/м^3 ; $\text{ПДК}_{n=1}, \dots, \text{ПДК}_{n=j}$ – предельно допустимые концентрации идентифицированных веществ, мг/м^3 .

Используя результаты измерений и выполнив расчеты по выражению (2), воздействие отходов на атмосферный воздух можно будет считать

допустимым при условии, когда степень воздействия отходов на приземный слой атмосферного воздуха в зоне исследуемого участка будет меньше или равна единице ($Z1 \leq 1$).

Оценку защищенности грунтовых вод от фильтрата оценивают с помощью гидрохимического анализа образцов поземных вод, изымаемых из гидронаблюдательных скважин. Для этого в санитарно-защитной зоне бурят не менее 5 гидронаблюдательных скважин. Из них две располагают выше свалочного тела относительно притока подземных вод, три – ниже свалочного тела относительно оттока подземных вод на расстоянии 50...100 м от границы свалочного тела. Полученные результаты гидрохимического анализа будут характеризовать степень влияния отходов на изменение качества подземных вод

путем сравнения полученных результатов, если принять результаты анализа двух скважин, расположенных выше свалочного тела относительно притока подземных вод, за фоновые значения, а результаты анализа трех скважин, расположенных ниже свалочного тела относительно оттока подземных вод, – за фактические.

Для бурения скважин применяют буровые станки. После бурения скважины промывают от шлама и приводят в рабочее состояние. Диаметр скважины принимают таким, чтобы обеспечить использование оборудования для отбора проб из скважин и выполнение работ по откачке и очистке скважин в случае их заиливания. Для этих целей применяют стальные буровые трубы Ø89 или Ø127 мм. Скважина состоит из трех основных частей: устья – часть обсадной трубы, выступающая на 1 м от поверхности земли (для удобства выполнения измерений уровня и отбора проб прободоотборником); отметку верха устья скважин привязывают к Балтийской системе координат); сплошной части стальной обсадной трубы, проходящей через аэробную зону, исключающей загрязнение грунтовых вод в скважине; фильтрового звена стальной трубы с вертикально-щелевой перфорацией, обмотанной нержавеющей сеткой и отстойником (0,5...1,0 м) в истоке. После установки скважины на точку верхнюю часть затрубного пространства заполняют крупным песком, далее тампонируют глиной и фиксируют цементным замком. Сверху устье скважины закрывается съемной крышкой, которая защищает от попадания внутрь атмосферных осадков и мусора. Из наблюдательных скважин после откачки из них воды и восстановления уровня отбираются пробы воды для лабораторного анализа [5].

Конструкция гидронаблюдательной скважины приведена на рисунке 2 [5].

Степень защищенности грунтовых вод от фильтра –

$$Z_{г/в} = 1/n \left(\frac{C_{сп(н)}}{C_{сп(в)}} + \dots + \frac{C_{сп(н)}}{C_{сп(в)}} \right), \quad (3)$$

где $Z_{г/в}$ – степень защищенности грунтовых вод от фильтра; n – общее число ингредиентов, идентифицированных в пробах из гидронаблюдательных скважин, шт.; j – порядковый номер ингредиента, идентифицированного в пробах из гидронаблюдательных скважин, $j = 1, 2, \dots, n$; $C_{сп(в)}$, $C_{сп(н)}$ – средние значения измеренных концентраций ингредиентов (Ph, сухой остаток, взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, нефтепродукты, свинец, кадмий, никель, медь, мышьяк, хром, цинк, ртуть) в пробах, отобранных из двух гидронаблюдательных скважин, пробуренных выше свалочного тела относительно притока подземных вод;

$C_{сп(в)}$, $C_{сп(н)}$, $C_{сп(в)}$, $C_{сп(н)}$ – то же из трех гидронаблюдательных скважин, пробуренных ниже свалочного тела относительно оттока подземных вод на расстоянии 50...100 м от границы свалочного тела, мг/дм³.

При $Z_{г/в} \leq 1$ защищенность грунтовых вод в зоне исследуемого участка от филтраты обеспечена.

В случае расположения рекультивируемого участка вблизи водного объекта (реки, озера, пруды, ручьи, овраги или болота) мониторинг поверхностных вод осуществляют по отбору проб воды из водного объекта в трех точках. Точка А – точка разгрузки поверхностного стока, формирующегося на поверхности свалочного тела и стекающего по линии наименьшего ската в водный объект. Две других – точка В и точка С – точки, отстоящие, соответственно, от точки А на расстоянии 100...300 м выше и ниже по течению в зависимости от скорости воды в реке.

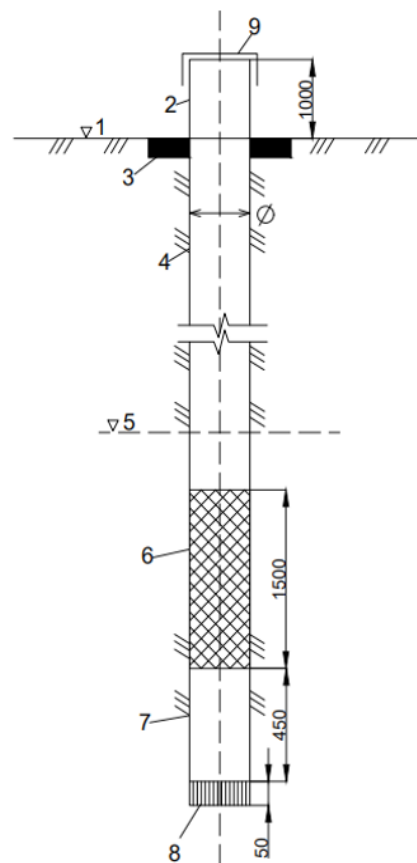


Рис. 2. Конструкция гидронаблюдательной скважины:

- 1 – дневная поверхность земли; 2 – устье;
- 3 – замок; 4 – сплошная часть стальной трубы;
- 5 – уровень подземных вод; 6 – фильтровое звено;
- 7 – отстойник; 8 – пробка; 9 – крышка

Fig. 2. Hydro-observation well design

- 1 – day surface of the earth; 2 – mouth;
- 4 – solid part of a steel pipe; 5 – groundwater level;
- 6 – filter link; 7 – sedimentation tank; 8 – plug; 9 – cover

Результаты гидрохимического анализа проб, отобранных в точках А, В и С, сравнивают с их ПДК_{р.х.} или ПДК_{к.б.}, определяя возможную степень влияния свалочного тела на загрязнение водного объекта, в точках А, В и С:

$$Z \frac{A}{B/O} = 1/n \left(C \frac{A}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{A}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right); \quad (4)$$

$$Z \frac{B}{B/O} = 1/n \left(C \frac{B}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{B}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right); \quad (5)$$

$$\frac{1}{B/O} \left(C \frac{1}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{1}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right) \quad (6)$$

где $Z \frac{B}{B/O}$, $Z \frac{A}{B/O}$, $Z \frac{C}{B/O}$ – степень возможного воздействия свалочного тела на загрязнение водного объекта, соответственно, в точках А, В, С; n – общее число ингредиентов, идентифицированных в пробах, отобранных в точках А, В и С, шт.; j – порядковый номер ингредиента, идентифицированного в пробах из водного объекта, j = 1, 2, ..., n; $C \frac{A}{n=1}, \dots, C \frac{A}{n=j}, C \frac{B}{n=1}, \dots, C \frac{B}{n=j}, C \frac{C}{n=1}, \dots, C \frac{C}{n=j}$ – значения измеренных концентраций ингредиентов (Рн, сухой остаток, взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, нефтепродукты, свинец, кадмий, никель, медь, мышьяк, хром, цинк, ртуть) в пробах, отобранных, соответственно, в точках А, В, С водного объекта, мг/дм³; ПДК_{n=j} – предельно допустимая концентрация идентифицированного загрязняющего вещества (от n = 1 до n = j) в точках А, В, и С соответственно, мг/дм³.

Возможные ситуации заключаются в следующем:

$$1. Z \frac{B}{B/O} < Z \frac{A}{B/O} \sim Z \frac{C}{B/O} \text{ – свалочное тело}$$

оказывает негативное воздействие на качество воды в водном объекте;

$$2. Z \frac{B}{B/O} \geq Z \frac{A}{B/O} \sim Z \frac{C}{B/O} \text{ – свалочное тело}$$

не оказывает негативного воздействия на качество воды в водном объекте, так как это результат фоновое состояние качества воды в водном объекте, сформировавшегося общей антропогенной нагрузкой на ландшафт;

$$3. Z \frac{B}{B/O} < Z \frac{A}{B/O} > Z \frac{C}{B/O} \text{ – свалочное тело}$$

оказывает негативное воздействие на качество воды в водном объекте, но при движении воды от точки А до точки С происходит разбавление загрязняющих ингредиентов, что требует проведения мероприятий, направленных на предотвращение поступления загрязненного поверхностного стока на рельеф от свалочного тела.

С целью оценки возможного вторичного загрязнения водной среды в тех же точках отбирают пробы донных отложений со дна водного объекта. Далее в лабораторных условиях

определяют концентрации ингредиентов потенциальных загрязнений для расчета степени возможного их влияния на вторичное загрязнение водного объекта в точках А, В, С соответственно:

$$Z \frac{A}{D/O} =$$

$$= 1/n \left(C \frac{A}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{A}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right); \quad (7)$$

$$Z \frac{B}{D/O} =$$

$$= 1/n \left(C \frac{B}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{B}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right); \quad (8)$$

$$Z \frac{C}{D/O} =$$

$$= 1/n \left(C \frac{C}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{C}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right); \quad (9)$$

где $Z \frac{A}{D/O}$, $Z \frac{B}{D/O}$, $Z \frac{C}{D/O}$ – степень возможного влияния свалочного тела на загрязнение донных отложений, соответственно, в точках А, В, С; n – общее число ингредиентов, идентифицированных в пробах, отобранных в точках А, В и С, шт.; j – порядковый номер ингредиента, идентифицированного в пробах донных отложений из водного объекта, j = 1, 2, ..., n; $C \frac{A}{n=1}, \dots, C \frac{A}{n=j}, C \frac{B}{n=1}, \dots, C \frac{B}{n=j}, C \frac{C}{n=1}, \dots, C \frac{C}{n=j}$ – измеренные значения концентраций ингредиентов загрязняющих веществ нефтепродуктов, бензапирена, цинка, свинца, меди, кадмия, серебра, Cs137, K40, Ra226, Th232, A_{эфф.}, содержащихся в пробах, отобранных, соответственно, в точках А, В, С со дна водного объекта, мг/дм³; ПДК_{n=1}, ПДК_{n=j} – предельно допустимая концентрация ингредиентов загрязняющих веществ, идентифицированных в донных отложениях (от n = 1 до n = j) в пробах, отобранных в точках А, В и С, мг/дм³.

$$\text{В случае } Z \frac{A}{D/O} > Z \frac{B}{D/O}, Z \frac{A}{D/O} > Z \frac{C}{D/O}$$

и $Z \frac{C}{D/O} > Z \frac{B}{D/O}$ наблюдается процесс накопления загрязняющих веществ в донных отложениях водного объекта.

Для оценки воздействия отходов свалочного тела на загрязнение почвы в санитарно-защитной зоне отбирают пробы методом конверта в точках, расположенных с подветренной стороны и со стороны противоположной, наветренной (сторона, куда дует ветер). Далее в лабораторных условиях определяют концентрации ингредиентов потенциальных загрязнений:

$$Z \frac{П/В}{n} =$$

$$= 1/n \left(C \frac{П/В}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{П/В}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right); \quad (10)$$

$$Z \frac{H/V}{n} = 1/n \left(C \frac{H/V}{n=1} / \text{ПДК}_{n=1} + \dots + C \frac{H/V}{n=j} / \text{ПДК}_{n=j} \right), \quad (11)$$

где $Z \frac{H/V}{n}$, $Z \frac{H/V}{n}$ – степени возможного влияния свалочного тела на загрязнение почвы, расположенной в санитарно-защитной зоне, соответственно, с подветренной и наветренной сторон по розе ветров; n – общее число ингредиентов, идентифицированных в пробах почвы, шт.; j – порядковый номер ингредиента, идентифицированного в пробах почвы, $j = 1, 2, \dots, n$; $C \frac{H/V}{n=1}, \dots, C \frac{H/V}{n=j}, C \frac{H/V}{n=1}, \dots, C \frac{H/V}{n=j}$ – концентрации нефтепродуктов, бензапирена, цинка, свинца, меди, кадмия, серебра, Cs137, K40, Ra226, Th232, $A_{\text{эф}}$, содержащихся в почве санитарно-защитной зоны, соответственно, с подветренной и наветренной сторон, мг/кг; $\text{ПДК}_{n=j}$ – предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ (от $n = 1$ до $n = j$), содержащихся в образцах почвы, мг/кг.

В случае, когда $Z \frac{H/V}{\Pi} > Z \frac{H/V}{\Pi}$, это означает процесс накопления загрязняющих веществ в почве на участке санитарно-защитной зоны, расположенной с наветренной стороны свалочного тела.

Лаборатория, выполняющая экомониторинг, должна быть аккредитована в соответствии с Федеральным законом «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» № 412-ФЗ [11].

На основании полученных результатов и их анализа делается заключение о достижении поставленной цели – снижении негативного воздействия отходов на компоненты природной среды.

Список использованных источников

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году / Министерство природных ресурсов РФ. 2022. <https://2022.ecology-gosdoklad.ru/doklad/o-doklade/>
2. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 25 декабря 2023 г.), с изм. и доп., вступ. в силу с 1 января 2024 г. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://groro.rpn.gov.ru/upload/iblock/c36/1uqy3p77d-fbriu9rca9zrwgryzezl9mk/Federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-N-7_FZ_red.-ot-25.12.2023.pdf.
3. Сметанин В.И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель: Учебное пособие. М.: КолосС, 2003. 96 с.: ил.
4. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления: Учебное пособие. М.: «КолосС», 2003. 232 с.: ил.
5. Голованов А.И. Рекультивация нарушенных земель / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, В.И. Сметанин. Учебное пособие. М.: «КолосС», 2009, 325 с.: ил.
6. ТСН 11-301-2005. Положение о порядке проведения работ по рекультивации несанкционированных свалок в городе Москве (дата актуализации –

Выводы

1. Существует множество способов снижения негативного воздействия твердых коммунальных отходов, размещенных на несанкционированных свалках и полигонах ТКО, но эффективность может быть подтверждена только результатами проведения горно-экологического мониторинга с оценкой возможного негативного воздействия отходов на компоненты природной среды (атмосферный воздух, почву, поверхностный сток и подземные воды) путем сравнения полученных результатов с фоновыми значениями идентифицированных загрязняющих веществ и их фоновыми или предельно допустимыми концентрациями.

2. При любых технологиях будут оставаться не утилизируемые фракции, требующие захоронения на полигонах. В связи с этим необходимо совершенствовать методику проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации полигонов ТКО как инженерно-экологических сооружений, минимизирующих негативное воздействие отходов на окружающую среду и здоровье человека.

3. Разработанная методика оценки негативного воздействия отработанных несанкционированных стихийных свалок и «полигонов» ТКО в составе горно-экологического мониторинга позволит оценить воздействие отходов на окружающую среду как в процессе эксплуатации мест размещения отходов, так и после их рекультивации.

References

1. State Report on the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2022, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, 2022 <https://2022.ecology-gosdoklad.ru/doklad/o-doklade/>
2. Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ (as amended on 25.12.2023) “On Environmental Protection” (with amendments and additions, effective from 01.01.2024) chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://groro.rpn.gov.ru/upload/iblock/c36/1uqy3p77d-fbriu9rca9zrwgryzezl9mk/Federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-N-7_FZ_red.-ot-25.12.2023_.pdf
3. Smetanin V.I. Reclamation and Arrangement of Disturbed Lands. / V.I. Smetanin. Moscow: KolosS, 2003. 96 p.: ill.
4. Smetanin V.I. Protection of the environment from production and consumption waste / V.I. Smetanin. Moscow: “Koloss”, 2003, 232 p.: ill.
5. Golovanov A.I. Recultivation of disturbed lands / A.I. Golovanov, F.M. Zimin, V.I. Smetanin. The training manual. M.: “Colossus”, 2009, 325 p.: ill.
6. TSN11-301-2005 Regulation on the procedure for the reclamation of unauthorized landfills in the city of Moscow (date of update 01.01.2021) <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293853/4293853444.htm>

01.01.2021 г.). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293853/4293853444.htm>.

7. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 4 августа 2023 г.), с изм. и доп., вступ. в силу с 1 марта 2024 г. <https://sudact.ru/law/federalnyi-zakon-ot-24061998-n-89-fz-ob/>

8. Кузнецов А.Ю. Рекультивация антропогенно нарушенных земель [Текст]: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение / А.Ю. Кузнецов, Н.П. Чекаев. Пенза: РИО ПГСХА, 2016. 215 с.

9. Васильченко А.В. Рекультивация нарушенных земель: Учебное пособие: В 2 ч. Ч. 1. Оренбург: ОГУ, 2017. 230 с.

10. Способ реконструкции свалки с преобразованием ее в полигон ТБО: Патент на изобретение № 2431530 от 20.10.2011 / В.И. Сметанин, А.С. Ларин. Заяв. 2010.04.26; Опубл. 2011.10.20.

11. Сметанин В.И. Оценка воздействия строительных работ на окружающую среду / В.И. Сметанин, Е.В. Щекудов. // Природообустройство. 2018. № 1. С. 46-54.

Об авторе

Владимир Иванович Сметанин, главный научный сотрудник отдела механизации мелиоративных работ, д-р техн. наук, профессор; ORCID ID: 0009-0004-0134-1234; smetanin2000@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Сметанин В.И. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 02.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 12.03.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 12.03.2025

7. Federal Law of 24.06.1998 No. 89-FZ (as amended on 04.08.2023) On Production and Consumption Waste (with amendments and additions, effective from 01.03.2024) <https://sudact.ru/law/federalnyi-zakon-ot-24061998-n-89-fz-ob/>

8. Kuznetsov A.Yu., Reclamation of anthropogenically disturbed lands [Text]: a textbook for students studying in the direction of 35.03.03 – Agrochemistry and Agrosol Science / A.Yu. Kuznetsov N.P. Chekaev, Penza: RIO PGSHA, 2016. 215 p.

9. Vasilchenko A.V. V 19 Reclamation of disturbed lands: a textbook: in 2 parts. Orenburg: OSU, 2017. Part 1. 230 p. ISBN 978-5-7410-1816-3

10. Method of reconstruction of a landfill with its transformation into a solid waste landfill: Patent for invention No 2431530 dated 20.10.2011 / V.I. Smetanin, A.S. Larin. Date of application: 2010.04.26, published: 2011.10.20

11. Smetanin V.I. Assessment of the impact of construction work on the environment / V.I. Smetanin, E.V. Shchekudov // Scientific and practical journal ISBN 1997-6011 "Prirodoobustroystvo" No 1, 2018, P. 46-54.

Information about the author

Vladimir I. Smetanin, DSc (Eng), professor chief researcher of the department of mechanization of reclamation works; ORCID ID: 0009-0004-0134-1234; smetanin2000@yandex.ru

V.I. Smetanin carried out theoretical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript. He has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-77-86>

УДК 626.8:528.77:627.5



МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ БЕРЕГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЯ

К.С. Семёнова[✉], О.Н. Черных

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. Цель работы – обосновать методику мониторинга эрозионного состояния прибрежной зоны водных объектов с использованием данных дистанционного зондирования и предложить берегоукрепительные мероприятия, обеспечивающие противоэрозионную защиту. Для мониторинга развития эрозии берега предложена методика, базирующаяся на построении топографической карты рельефа, расчетов водного *WRI* и вегетационного *NDVI* индексов, полученных на основании анализа данных дистанционного зондирования. Карта индекса *WRI*, совмещенная с топографической картой местности, позволяет определить направление стока, а охарактеризовать устойчивость откосов за счет оценки густоты развития растительности позволяет вегетационный индекс *NDVI*. При выполнении анализа двух карт можно выделить эрозионные участки. Алгоритм мониторинга развития эрозии береговой линии по результатам обработки спутниковых снимков апробирован при формировании туристического кластера «Конаково-агротуризм». Выявленные эрозионные участки на построенных картах подтверждены результатами натурных наблюдений и фотофиксацией состояния берега р. Волга Конаковского района РФ.

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

Ключевые слова: эрозия, берег, дешифрование, вегетационный индекс, водный индекс, агротуризм, берегоукрепление

Формат цитирования: Семёнова К.С., Черных О.Н. Мониторинг состояния берега водных объектов с использованием данных дистанционного зондирования и организация противоэрозионного берегоукрепления // Природообустройство. 2025. № 2. С. 77-86. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-77-86>

Original article

MONITORING OF THE STATE OF THE COAST OF WATER BODIES USING REMOTE SENSING DATA AND ORGANIZATION OF ANTI-EROSION COASTAL PROTECTION

K.S. Semenova[✉], O.N. Chernykh

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

Abstract. The purpose of the work is to substantiate the methodology for monitoring the erosion state of the coastal zone of water bodies using remote sensing data and to propose coastal protection measures that ensure anti-erosion protection. To monitor the development of coastal erosion, a methodology is proposed based on the construction of a topographic relief map and calculations of the water *WRI* and vegetation *NDVI* indices obtained from the analysis of remote sensing data. The *WRI* index map, combined with a topographic map of the area, allows you to determine the direction of runoff, and the vegetation index *NDVI* allows you to characterize the stability of slopes by assessing the density of vegetation development.

When analyzing two maps, erosion areas can be identified. The algorithm for monitoring the development of coastal erosion based on the results of satellite imagery processing was tested during the formation of the Konakovo-Agrotourism tourist cluster. The erosion areas identified on the constructed maps are confirmed by the results of in-kind observations and photo recording of the state of the banks of the Volga River in the Konakovo District of the Russian Federation.

This work was funded by a grant from the Russian Science Foundation No 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>

Keywords: erosion, coast, deciphering, vegetation index, water index, agrotourism, bank protection

Format of citation: Semenova K.S., Chernykh O.N. Monitoring of the state of the coast of water bodies using remote sensing data and organization of anti-erosion coastal protection // Prirodoobustroystvo. 2025. No. 2. P. 77-86. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-77-86>

Введение. На формирование геометрии береговой линии рек влияют такие процессы, как эрозия, суффозия, абразия, оползни, а также сезонное, годовое изменение стока рек и его регулирование человеком. Вероятность возникновения эрозии на поверхности земли определяют как природные факторы (климат, уклон территории, физико-механический состав почвы, растительность), так и хозяйственное использование земель. Водная эрозия, под которой обычно понимают процесс разрушения горных пород и почв водным потоком, часто возникает благодаря поверхностному стоку при интенсивных обильных осадках на обрывистых и крутых склонах территории АПК, увлажняющих поверхность почвы, снижающих сцепление ее агрегатов и способствующих медленному сползанию частиц почвы по склону.

Рядом исследователей выявлена большая пространственная и временная изменчивость величины объема смещенного эрозионного материала по склонам с разреженным растительным покровом при выпадении осадков [1], зависящая от крутизны склонов для сравнительно малых углов их наклона. Помимо водной и ветровой эрозии, на состояние земельных прибрежных участков реки влияет речная эрозия, разрушающая прибрежную зону в результате воздействия речного потока. Ее параметры зависят от прочности грунта основания, интенсивности водного потока, гидрологических сезонов, деятельности человека (судоходство, сброс воды в реку и пр.) [2, 3].

Одной из основных причин развития водной эрозии на поверхности земли является увлажнение почвы, зависящей от ее физико-химических свойств, впитывающей способности, влагоемкости и водопроницаемости, а также видового состава растительности и развитой корневой системы, способной противостоять водной эрозии.

Процесс развития эрозии сложно обнаружить и выявить преобладающие причины ее возникновения в связи с множеством факторов,

влияющих на нее. В настоящее время для мониторинга состояния различных сельскохозяйственных объектов используются данные дистанционного зондирования земли. Его применение позволяет оперативно исследовать динамику протекания природных процессов и явлений, помогает анализировать причины их возникновения, прогнозировать возможные последствия [4, 6].

Цель исследований: обоснование прогностической методики мониторинга эрозионного состояния прибрежной зоны водных объектов с использованием данных дистанционного зондирования, а также выработка предложений по проведению берегоукрепительных мероприятий, обеспечивающих противоэрозионную защиту локального участка береговой линии, используемого для рекреации.

Актуальность темы исследований подтверждает включение отдельным блоком понятия агротуризма в нацпроект «Туризм и индустрия гостеприимства».

Материалы и методы исследований. В Конаковском районе Тверской области, в 140 км от Москвы, 70 км от Твери, в зоне влияния Иваньковского водохранилища реализуется уникальный туристический проект «Конаково-агротуризм», аутентичный для центра России. Иваньковское водохранилище (Московское море) играет важнейшую роль в формировании качества воды Волжского источника водоснабжения столицы, являясь самым верхним в Волжском каскаде, с помощью которого осуществляется сезонное регулирование стока для обеспечения водой канала им. Москвы [7]. При заполнении водохранилища, глубина которого составляет от 4 до 19 м, в 1936-1937 гг. была затоплена территория площадью 32 тыс. га, которую занимали 106 населенных пунктов, и уничтожен уездный город Корчева (первое упоминание – в 1540-е гг.). Сегодня длина береговой линии водохранилища составляет 527 км, площадь – 327 км², площадь водоохранной зоны – 650 км².

Основная составляющая приходной части водного баланса водохранилища – поверхностный сток (97%). Из общего притока на долю р. Волги приходится 59%, р. Тверца – 24%, р. Шошы и других притоков – 17%. На территории района, расположенного на пониженной равнине и отличающегося большой сглаженностью моренных форм, рельеф достаточно однороден [8]. Здесь в основном развиты подзолистые и болотные почвы, растительность представлена смешанными и хвойными лесами, луговыми и болотными травами, сфагновыми мхами.

В рамках кластера в агротуристическое пространство «Топорок» входит пристань (рис. 1а), близ которой возводится из модульных домов с использованием натурального бруса кемпинг-отель. В будущем планируется строительство палаточного лагеря, гостиницы, ресторана, создание экотропы, велосипедных дорожек, спортивных, детских и пляжных зон и многих других объектов рекреации. В сентябре 2024 г. были проведены обследования берега Волги в хозяйстве АО Корчева, где за навигационный период уровень воды снижается на 0,4...0,5 м. В период половодья уровень может значительно изменяться (по данным станции г. Дубна, на 1,95 м в среднем за 4 года).

В период подготовки к обследованию на основании анализа существующих методов было предложено в качестве исходных данных для мониторинга эрозионных участков береговых зон кластера использовать наиболее качественные

снимки со спутников Landsat 7 и Landsat 8 [4, 5]. Снимки Landsat находятся в открытом доступе на сайте NASA earthexplorer, доступны в открытых каталогах и каталогах управляющих организаций. При расчете индексов для разных спутников необходимо учитывать номер канала и его соответствие определенному спектральному диапазону [6]. Например, принято, что зеленый спектр у Landsat 7 соответствует каналу 2, а у Landsat 8 – каналу 3. В основе дешифрирования снимков спутников лежит процесс распознавания объектов, их свойств. При этом каждому пикселю изображения спутника соответствует набор значений спектральных признаков, характеризующих объект.

Спектральная характеристика почв определяется физико-химическими свойствами, влажностью, растительным покровом, рельефом и пр. Для определения влажности почвы необходим индивидуальный подбор комбинации спектральных каналов, характеризующийся различной отражательной способностью увлажненных открытых участков земли и почв под растительностью. Густозалесенные массивы легче выявить с помощью использования каналов NIR-RED. Спектральные признаки SWIR-диапазона характеризуются наибольшей чувствительностью к изменениям растительного покрова в зависимости от влияния негативных факторов – таких, как деградация почв, недостаток влаги, заболевание растений. Для построения карты рельефа

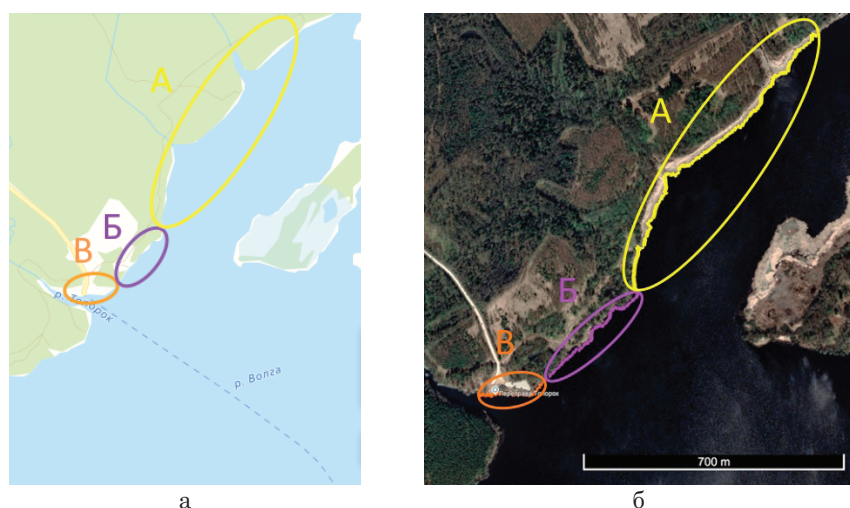


Рис. 1. Обследованный участок береговой линии р. Волги, обустраиваемый для реализации туристического кластера «Конаково-агротуризм»:

а – карта объединенного агротуристического пространства; б – предлагаемое зонирование берега;

А – пляжная зона (желтая линия); Б – зона рядом с постройками (фиолетовая линия);

В – зона пристани (оранжевая линия)

Fig. 1. Surveyed section of the Volga River coastline, being developed for the implementation of the Konakovo-Agrotourism tourist cluster:

а – map of the combined agrotourism space; б – proposed zoning of the coast;

А – beach area (yellow line); Б – area near buildings (purple line); В – pier area (orange line)

территории в программе QGIS использовались топографические данные Земли Open Topography, полученные как с помощью лидара, так и более классическими методами, которые поддаются алгоритму интерполяции TIN (триангулированная нерегулярная сеть). Выбор базы данных был основан на высокой точности, отсутствии искажений в результате облачности и постоянном обновлении данных дистанционного зондирования. В результате обработки сведений была получена топографическая карта местности, согласно которой высота рельефа Конаковского района изменяется от 125 до 160 м.

Увлажненность поверхности земли и содержание влаги в растительном покрове можно достаточно корректно определить с помощью водного индекса *WRI* (Water Ratio Index) [6], который рассчитывается по формуле:

$$WRI = (Green + Red) / (NIR + SWIR2), \quad (2)$$

где *Green* – отражение в области зеленого цвета видимого спектра; *Red* – отражение в области красного цвета видимого спектра; *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра; *SWIR2* – отражение в ближней инфракрасной коротковолновой области спектра.

Для оценки растительного покрова изучаемой территории был рассчитан вегетационный индекс *NDVI*, который дает достаточно точное представление о степени залесенности прибрежной зоны: чем темнее цвет, тем гуще лесной массив, тем меньше участок подвержен водной и ветровой эрозии. Это дает возможность при регулярном обследовании береговой зоны проводить картирование растительного покрова, определять площадь и плотность растений [9, 10]:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red). \quad (3)$$

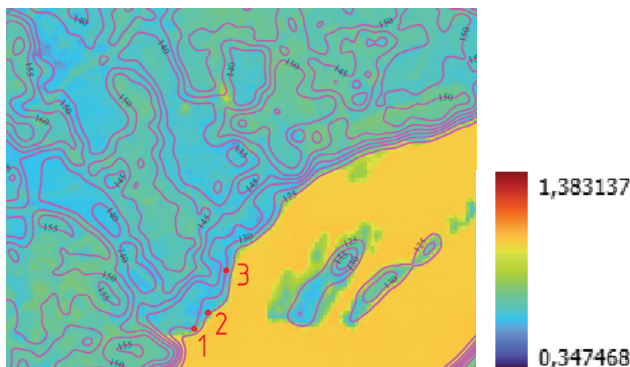


Рис. 2. Карта водного индекса *WRI* и рельефа местности части кластера с указанием точек фотофиксации во время натурного обследования берега Волги

Fig. 2. Map of the water index *WRI* and area relief of part of the cluster with indication of photo fixation points during the field survey of the Volga bank

Результаты и их обсуждение. Полученная при расчете водного индекса *WRI* карта дает достаточно четкие границы увлажнения поверхности земли и накопления влаги в растениях. Влажность поверхности земли изменяется в пределах от 0,3 до 1, водные объекты имеют значение от 1 и выше. При совмещении карты водного индекса *WRI*, топографической карты местности (рис. 2) и направления уклона было определено формирование стока на обустраиваемом участке кластера, указанное разными оттенками синего цвета. Таким образом, объединенную карту водного индекса *WRI* и рельефа местности можно использовать для выявления эрозионных участков.

Вегетационный индекс *NDVI* характеризует относительное количество фотосинтетически активной биомассы. Он является комбинированной характеристикой плотности растительного покрова по содержанию хлорофилла (чем темнее цвет, тем гуще растительность) (рис. 3). Желтым и светло-зеленым цветом обычно обозначаются, соответственно, участки, безлесные и заросшие кустарниками (табл. 1). Таким образом, вегетационный индекс позволяет охарактеризовать устойчивость откосов береговой линии за счет оценки густоты развития леса. Самыми устойчивыми откосами считаются те, у которых вершина и склон закреплены лесным массивом (стрелка 2 на рис. 3). На таких участках не требуется оперативное строительство противоэрозионных сооружений. Участок под стрелкой 1 и зона близ стрелки без густой растительности требуют проведения обязательных мероприятий противоэрозионной защиты. На рисунке 3 прослеживается углубление береговой линии в сторону суши, лес при этом сменяется кустарником. Резкое смещение береговой линии в глубь суши рядом с точкой 1, переувлажнение земли и наличие кустарниковой растительности характеризуют участок как эрозионно-опасный.

Обследование прибрежной зоны проводилось в сентябре 2024 г. на участке левого берега Волги длиной 1807,7 м. Участок был условно разделен на 3 зоны (рис. 1б): пляжная зона (А), зона рядом с постройками (Б), зона пристани (В). При оценке эрозии берега анализировалось состояние элементов всей цепочки «Водосбор-склон-русло реки», поскольку здесь экзогенные процессы развиваются взаимосвязанно.

Во время натурных обследований было установлено, что в начале маршрута (рис. 2) рядом с точкой 1 сейчас располагается пристань, и от нее идет автомобильная дорога. Здесь часть берега заросла осокой. У пристани

Таблица 1. Классификация данных дистанционного зондирования по вегетационному индексу *NDVI*

Table 1. Classification of remote sensing data by *NDVI* vegetation index

№	Точки выборки / <i>Sampling points</i>	Особенности изображения / <i>Features of imagery</i>	<i>NDVI</i>
1	Застройка <i>Buildings development</i>		Резкое изменение значений <i>Drastic change in values</i>
2	Водные объекты / <i>Water objects</i>		–0,1-0
3	Лесные угодья / <i>Forest land</i>		0,175-0,43
4	Сельскохозяйственные угодья / <i>Agricultural land</i>		>0,43
5	Почва с незначительной растительностью <i>Soil with minor vegetation</i>		0,07-0,175



Рис. 3. Объединенная карта рельефа агротуристического пространства «Топорок» с вегетационным индексом *NDVI* и с указанием направления стока:

- 1 – участок с низкой степенью заселенности;
2 – участок с высокой степенью заселенности

Fig. 3. Combined relief map of the agrotourism space “Toporok” with the vegetation index *NDVI* and with the indication of the flow direction:

- 1 – area with a low degree of population;
2 – area with a high degree of population

на неукрепленных безлесных участках по направлению, отмеченному на рисунке 4 стрелкой, наблюдается эрозия разной интенсивности. Рядом, вдоль берега до точки 2 маршрута, на момент обследования была организована строительная площадка, местами располагаются коттеджные домики, вырыт пруд. В районе точки 2 вдоль площадки на берегу по направлению стока встречаются участки с эрозией поверхности земли. В точке 3 территория уже более залесенная. Пляжный берег в зоне точки 3 покрыт разнотравьем, осока растет у самой кромки воды. По всей длине берега встречается струйчатая эрозия глубиной до 10 см, особенно интенсивная близ территории стройки. Неглубокие, редко встречающиеся эрозионные

участки есть и на пляжах, и на береговой линии близ лесного массива (рис. 4). К основным факторам, влияющим на эрозию береговой линии, как и для остальных участков левобережья, можно отнести антропогенную нагрузку и проявление русловых процессов, от которых и зависит степень устойчивости.

Таким образом, полученная карта (рис. 2) согласно данным полевого обследования достоверно указывает эрозионно-опасные участки в прибрежной зоне, а также позволяет уточнить участки с открытой поверхностью земли, без растений, то есть эрозионно-опасные.

Для оценки состояния эрозии берега при обработке результатов обследования использовался критерий интенсивности смыва поверхности земли берега [11]. Он определялся как отношение массы смытых частиц грунта к площади участка. Масса смытой земли находилась при этом как произведение ее объема на плотность сложения. Согласно полученным результатам, приведенным в таблице 2, интенсивность смыва поверхности земли берега в пляжной зоне и зоне пристани можно было оценить на момент обследования как «очень слабая». В зоне стройки эрозия берега ожидаемо усиливается, но на данный момент смыв является довольно слабым.

Поскольку береговая зона, где возводится инновационный комплекс агротуристического пространства «Топорок», подвержена эрозионным процессам и не укреплена инженерными защитными сооружениями, с каждым годом при активном ее использовании будет все интенсивнее происходить деформация берега, что впоследствии может привести к разрушению всех основных построек инфраструктуры и туристического кластера «Конаково-агротуризм» в целом.

Для повышения устойчивости береговой линии и защиты склонов от эрозии были рассмотрены, в соответствии с ожидаемым использованием прибрежных зон и с учетом инженерно-геологических и гидрологических условий береговой полосы, три основных типа противоэрозионных берегоукреплений: из природного камня, габионных конструктивных элементов и свай (деревянных из лиственницы либо ПВХ) [12-15].

При выборе и расчете параметров укрепления учитывались не только местные условия, но и то, что в водохранилище уровень воды зимой резко не изменяется, но может наблюдаться вымораживание отдельных элементов некоторых видов берегоукрепления. В теплый же период года берегоукрепительные конструкции подвержены размывам, в том числе ливнями, зарастанием сорной растительностью и пр.

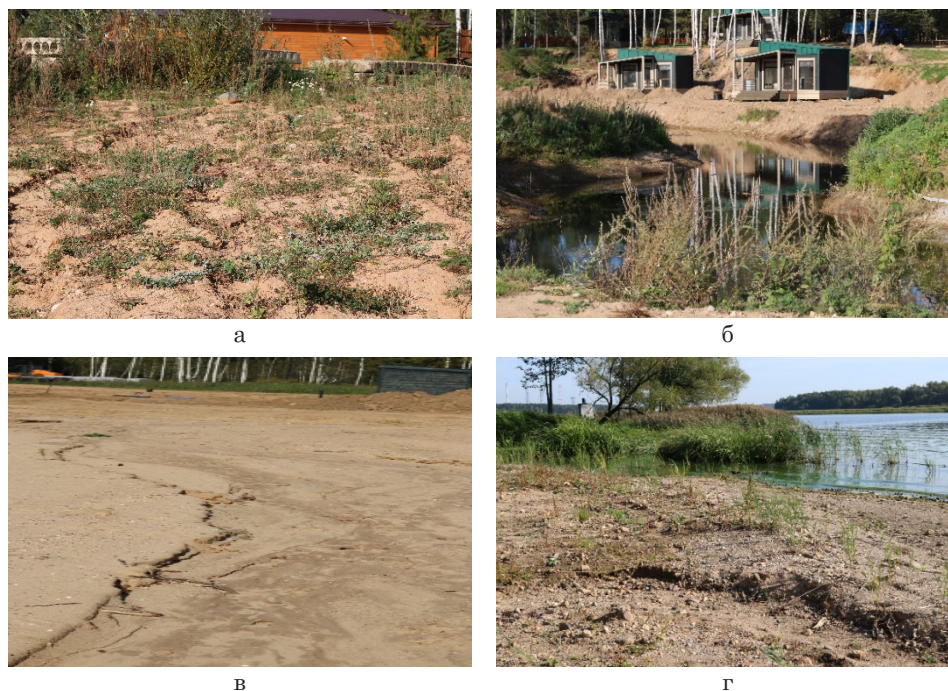


Рис. 4. Результаты обследования береговой линии р. Волги в Конаковском хозяйстве АО Корчева, сентябрь 2024 г., с обнаруженными дефектами: а – деформации прибрежной зоны в точке 1; б – переработка берега на участке между точками 1 и 2; в – продольная трещина в результате оползания берега в точке 2; г – эрозия берега в точке 3 (фото К.С. Семёнова)

Fig. 4. Results of the survey of the Volga River coastline in the Konakovo farm of JSC Korcheva, September 2024 with detected defects (photo by K.S. Semenova):

a – coastal zone deformations at point 1; b – coastal reworking in the area between points 1 and 2; c – longitudinal crack as a result of coastal landslide at point 2; d – coastal erosion at point 3

Таблица 2. Определение интенсивности смыва поверхности берега р. Волги

Table 2. Determination of the surface washing intensity of the Volga River bank

Зона / The zone	Элементы рельефа Elements of relief	Длина зоны, м Length of the zone, m	Площадь зоны, м ² Area of the zone, m ²	Плотность сложения, т/м ³ Addition density, t / m ³	Средняя глубина эрозии, м Average depth of erosion, m	Длина эрозии, м Erosion length, m	Средняя ширина эрозии, м Average width of erosion, m	Масса смыва земли, т Mass of earth washout, t	Интенсивность смыва, т/га в год The intensity of washing away of the land surface of the coast, t / ha per year
А	пляжная зона beach zone	1198	8382	1,52	0,025	11,2	0,3	0,128	0,15
Б	зона рядом с постройкой zone near buildings	384,0	1564,33	1,53	0,08	15,0	0,21	0,386	2,63
В	зона пристани pier zone	225,7	261, 57	1,48	0,05	6,1	0,07	0,032	1,21

Для зоны А (пляжная) практически не требуется дополнительное укрепление, так как верхняя часть прибрежного склона защищена густым лесом, нижняя часть (подводная) обладает пологостью, соответствующей устойчивым песчаным пляжным склонам [2]. Для закрепления берега в зоне Б (постройки кемпинг-отеля) предлагается: применение берегоукрепления из миксированных габионных конструкций с биоплато или использование типизированных укреплений из габионов (габионные матрасы и тюфяки [13, 14]; коробчатые и цилиндрические габионы [14, 15]; армирующие системы;

биоинженерные системы [16] и пр.). Неплохо они показали себя на низких, подмываемых берегах, возводимых компаниями «Габионы Маккаферри СНГ», «Реконструкция», «Габиком», «Берег» и др., как отдельно, так и в комбинации с геосинтетическими или геокомпозитными материалами (георешетки, геомембраны, геоматы, бентоматы, геотубы и т.д.) (рис. 5б). Для предлагаемой базовой конструктивной схемы из габионных элементов (рис. 5а) был составлен алгоритм расчета берегоукреплений, заключающийся в правильном выборе проектных данных (размера камня, параметров габионных структур – толщины матраса,

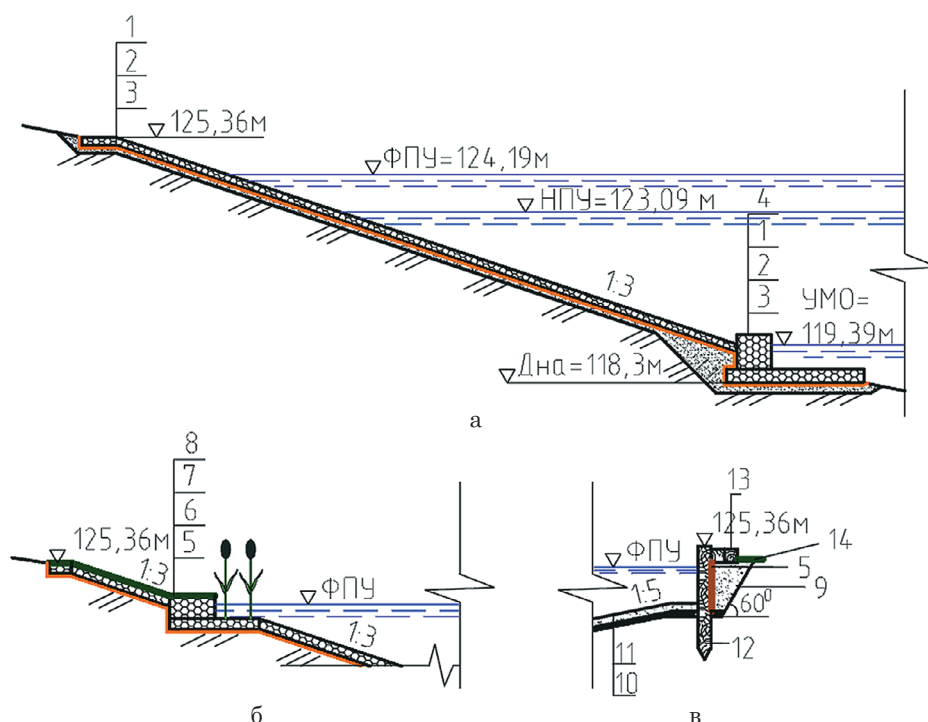


Рис. 5. Схемы фрагментов предлагаемых берегозащитных противоэрозионных конструктивных устройств агрокластера «Конаково-агротуризм» для различных зон берега Волги:

а – оптимизированное крепление габионными структурами;

б – миксированные габионные конструкции с биоплато;

в – шпунтовая стенка из деревянных свай с геотекстилем

(1 – матрасно-тюфячные габионы $2 \times 4 \times 0,23$ м; 2 – геотекстиль; 3 – песчаная подготовка 0,15 м;

4 – коробчатый габион $1 \times 1 \times 2$ м; 5 – Дорнит 0,01 м; 6 – матрасы Рено $3 \times 2 \times 0,23$ м;

7 – габионы $2 \times 1 \times 0,5$ м; 8 – озеленение по слою растительного грунта; 9 – засыпка песком;

10, 11 – крупный речной песок на подготовке из геосинтетики; 12 – бревно из лиственницы;

13 – спилы из бревен лиственницы; 14 – посев трав по слою растительной смеси

и материала Макмат-L, закрепленного на откосе деревянными колышками

в шахматном порядке с шагом 0,5 м)

Fig. 5. Schemes of fragments of the proposed coastal protection anti-erosion structural devices of the agrocluster "Konakovo-Agrotourism" for different zones of the Volga bank:

a – optimized fastening with gabion structures; b – mixed gabion structures with a bioplateau;

c – sheet piling wall made of wooden piles with geotextile: 1 – mattress-mattress gabions $2 \times 4 \times 0.23$ m;

2 – geotextile; 3 – sand preparation 0.15 m; 4 – box gabion $1 \times 1 \times 2$ m; 5 – Dornit 0.01 m;

6 – Reno mattresses $3 \times 2 \times 0.23$ m; 7 – gabions $2 \times 1 \times 0.5$ m; 8 – landscaping on a layer of topsoil; 9 – sand backfill;

10, 11 – coarse river sand on geosynthetic preparation; 12 – larch log; 13 – larch log cuts;

14 – grass seeding on a layer of plant mixture and Makmat-L material, fixed on the slope with wooden pegs in a checkerboard pattern with a step of 0.5 m

длины и ширины элементов, типа сетки и проволки, заполнителя), величины касательных напряжений; в проверке на возможность появления деформаций; в проверке на размыв скорости под матрасами на границе габион-грунт.

Предварительные расчеты для оптимизации предлагаемых конструктивных решений были выполнены при следующих граничных условиях, учитывающих влияние Иваньковского водохранилища: ФПУ = 124,19 м; НПУ = 123,09 м; УМО = 119,39 м; скорость ветра V (на высоте 10 м) – 20, 14 и 5 м/с соответственно; устойчивая ширина акватории $L = 1444$ км при угле между осью водоема и направлением ветра = 0° ; наибольшее заложение откосов береговой линии $m = 3$; грунт береговых склонов – песок речной; примерная отметка дна в прибрежной зоне – не менее 2 м от уреза воды.

В результате расчетов габаритных параметров рекомендовано принимать: верхнюю границу крепления береговых откосов с учетом ветрового нагона и наката волн не ниже отметки 125,4 м, нижнюю – не выше 118,3 м, толщину габионных конструкций – 0,23 м, заполняемых камнем со средним диаметром $d_{50\%} = 0,12$ м.

Размывающая скорость под матрасами на границе габион-грунт (v_h) для предлагаемой конструктивной базовой схемы была найдена по формуле:

$$v_h = n_f^{-1} (0,5 d_{50\%})^{2/3} i^{1/2}, \quad (4)$$

где i – уклон склона; n_f – коэффициент шероховатости поверхности берегового склона под матрасом, учитывающий конструкцию обратного фильтра под габионом.

Поскольку под современными матрасно-тюфячными габионными конструкциями укладывается геотекстиль, был принят $n_f = 0,02$ [2]; скорость фильтрации на границе габион – грунт для берегового откоса $v_h = 3,42$ м/ч. Для несвязанного песчаного грунта средняя скорость фильтрации v_e была определена по формуле [12]:

$$v_e = 16,1 (d_{50\%})^{1/2}. \quad (5)$$

Таким образом, для левого берега Волги на участке агротуристического пространства «Топорок» $v_e = 5,58$ м/ч. Оценка условия $v_h \geq (2...4) v_e$, которое необходимо соблюдать при проверке возможного размыва габионных конструкций [14],

показала, что на протяжении данного участка оно везде выполняется (например, в точке 2 $v_h = 3,43 \geq (2...4)5,58 = 11,15...22,31$ м/ч). Следовательно, вероятность размыва под габионами предлагаемой базовой конструкции мала. Проверки на возможность появления деформаций в случае, если действительные касательные напряжения для участков дна и берега превысят критические значения при известных числах Шильдса [13], подтвердили это.

В качестве укрепления берега у пристани (зона В) предпочтительно использовать эколого-позитивные крепления из природных материалов, которые наносят минимальный ущерб окружающей среде и создают приятную на вид, подобную природе конструкцию [2, 16]. Поскольку берегозащитное сооружение здесь служит и причалом для судов, и прогулочной набережной, в качестве дополнительного укрепления берега в зоне переменного уровня предлагаем использовать шпунтовые ряды из бревен: брусчатые или свайные (рис. 5в), не исключая при соответствующем обосновании в качестве материала локальное использование вырубленных деревьев при расширении территории агротуристического пространства «Топорок».

Выводы

Для мониторинга развития эрозии берега водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования предложена методология построения карт распределения водного и вегетационного индексов, сгенерированных с картой рельефа местности, а также алгоритм расчета и выбора оптимальной конструкции берегоукрепления, зонированного на разных участках береговой линии Иваньковского водохранилища в рамках агротуристического пространства «Топорок». Выявленные эрозионные участки на картах подтверждены результатами натурного обследования и снимками берегов р. Волга на территории организуемого туристического кластера «Конаково-агротуризм» в Тверской области РФ.

Таким образом, предлагаемую методику мониторинга прибрежной зоны водных объектов можно довольно успешно использовать при оценке эрозионного состояния территорий АПК, подверженных экзогенным процессам.

Список использованных источников

1. Егоров И.Е. Капельно-дождевая эрозия – рельефообразующее значение и методы изучения // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2015. Т. 25, № 2. С. 159-166.
2. Черных О.Н. Особенности изменения профиля склона пойменных дамб и берегов водных объектов при волновом воздействии / О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко // Природообустройство. 2023. № 2. С. 81-85. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-57-62>
3. Черных О.Н. Проблемы безопасности и восстановления прибрежной зоны крупных водных объектов АПК, находящихся под воздействием экзотических процессов (на примере Крыма): монография: коллектив авторов / А.Э. Авакян, Е.С. Баранова, И.А. Барановская [и др.]. Петрозаводск: МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2024. 533 с., С. 406-428. ISBN 978-5-00215-454-8. DOI 10.46916/05112024-1-978-5-00215-454-8.
4. Чинь Л. Комбинированное использование изображений Landsat 8 и Sentinel 2A для улучшения пространственного разрешения температуры поверхности Земли / Л. Чинь, В.Р. Заблоцкий // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. 2021. № 6(99). С. 45-63. DOI: 10.18698/1812-3368-2021-6-45-63
5. Семёнова К.С. Оценка состояния подземных инженерных сооружений мелиоративной системы с помощью карт влажности, полученных на основе данных дистанционного зондирования земли беспилотным летательным аппаратом DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA // Природообустройство. 2023. № 3. С. 31-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-31-35.
6. Семёнова К.С. Идентификация береговой эрозии с помощью современных цифровых технологий // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича, Москва, 3-5 июня 2024 г. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. С. 23-27. EDN: SZZHSQ.
7. Даценко Ю.С. Влияние Иваньковского водохранилища на качество Волжского источника водоснабжения г. Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5 «География». 2021. № 5. С. 124-130.
8. Грипанцева Е.С. Эколого-геохимические исследования малых рек, впадающих в Иваньковское водохранилище (р. Волга) / Е.С. Грипанцева, Я.В. Бычкова, Л.П. Федорова // Вода: химия и экология. 2019. № 1-2. С. 15-26. EDN: CLFJSF
9. Jintao Liang, Chao Chen, Yongze Song, Weiwei Sun, Gang Yang. Sustainable Horizons Long-term mapping of land use and cover changes using Landsat images on the Google Earth Engine Cloud Platform in bay area – A case study of Hangzhou Bay, China Author links open overlay panel. 2023. September. Vol. 7. 100061.
10. NDVI – teoriya i praktika. [Elektronnyj resurs]. GISLAB [sait]. URL: <http://gislab.info/qa/ndvi.html> (data obrascheniya: 12.08.2021).
11. Белоцерковский М.Ю. Экология эрозионно-русловых систем России / М.Ю. Белоцерковский, К.М. Беркович, О.В. Виноградова, Н.Г. Добровольская и др. / Монография / Под ред. Р.С. Чалова. М.: Географический ф-т МГУ, 2002. 163 с.
12. Черных О.Н. Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие / О.Н. Черных, Н.В. Ханов, Н.В. Бурлаченко. Часть 1. М: Российский

References

1. Egorov I.E. Drip-rain erosion – relief-forming significance and methods of study / I.E. Egorov // Bulletin of the Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2015. Vol. 25, No. 2. P. 159-166.
2. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Features of changes in the slope profile of floodplain dams and banks of water bodies under wave action // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. P. 81-85.
3. Chernykh O.N., et al. Problems of safety and restoration of the coastal zone of large water bodies of the agro-industrial complex, influenced by exogenous processes (on the example of Crimea) / monograph: collective of authors / A.E. Avakyan, E.S. Baranova, I.A. Baranovskaya [et al.]. Petrozavodsk: MCNP "NEW SCIENCE", 2024. 533, P. 406-428. ISBN 978-5-00215-454-8. DOI 10.46916/05112024-1-978-5-00215-454-8.
4. Chin L. Combined use of Landsat 8 and Sentinel 2A images to improve the spatial resolution of the Earth's surface temperature / L. Chin, V.R. Zablotsky // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Natural Sciences Series. 2021. No. 6 (99). P. 45-63. DOI: 10.18698/1812-3368-2021-6-45-63
5. Semenova K.S. Assessment of the state of underground engineering structures of the reclamation system using moisture maps obtained from remote sensing data from the DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA unmanned aerial vehicle / K.S. Semenova // Prirodoobustrojstvo. No. 3, 2023. P. 31-35. DOI 10.26897/1997-6011-2023-3-31-35
6. Semenova K.S. Identification of coastal erosion using modern digital technologies / K.S. Semenova // Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 150th anniversary of the birth of A.Ya. Milovich: Collection of articles, Moscow, June 03-05, 2024. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2024. P. 23-27. EDN SZZHSQ.
7. Datsenko Yu.S. The influence of the Ivankovskoye Reservoir on the quality of the Volga water supply source of Moscow / Yu.S. Datsenko // Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography. 2021. No. 5. P. 124-130.
8. Grishantseva E.S. Ecological and geochemical studies of small rivers flowing into the Ivankovskoye Reservoir (Volga River) / E.S. Grishantseva Ya.V. Bychkova, L.P. Fedorova // Water: chemistry and ecology. 2019. No. 1-2. P. 15-26. EDN: CLFJSF
9. Jintao Liang, Chao Chen, Yongze Song, Weiwei Sun, Gang Yang Sustainable Horizons Long-term mapping of land use and cover changes using Landsat images on the Google Earth Engine Cloud Platform in bay area – A case study of Hangzhou Bay, China Author links open overlay panel – Volume 7, September 2023-100061.
10. NDVI – theory and practice [Electronic resource] GISLAB [sait]. – URL: <http://gislab.info/qa/ndvi.html> (data obrascheniya 12.08.2021).
11. Belotserkovsky M.Yu. Ecology of erosion-channel systems of Russia: monograph / M.Yu. Belotserkovsky K.M. Berkovich, O.V. Vinogradova, N.G. Dobrovolskaya i dr. Under the editorship of R.S. Chalov. Moscow: Faculty of Geography, Moscow State University, 2002. 163 p.
12. Chernykh O.N. Bank protection structures of water bodies: a tutorial / O.N. Chernykh, N.V. Khanov, N.V. Burlachenko. Volume Part 1. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, 2018. 164 p.

государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. 164 с.

13. СТО НОСТРОЙ 2.33.22-2011. Мелиоративные системы и сооружения. Габийонные противозрозионные сооружения. Общие требования по проектированию и строительству. М.: ФГБНУ «РосНИИПИМ», 2012.

14. Каганов Г.М. Гидротехнические сооружения из армированного грунта: монография / Г.М. Каганов, И.М. Евдокимова, К.И. Шевченко. М: НИИ-Природа. 2004, 607 с.

15. Ханов Н.В. Биоинженерные технологии защиты и обустройства прибрежных земель малых водных объектов АПК / Н.В. Ханов, О.Н. Черных, С.О. Курбанов, Ф.Т. Дударова // Природообустройство, № 3, 2024. С. 53-63. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-53-63>

Об авторах

Кристина Сергеевна Семенова, канд. техн. наук, доцент; Scopus: 57488382700; ORCID: 0000-0002-4446-4435, SPIN-код: 426-1908; AuthorID: 912890; kristi11.05.88@yandex.ru

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

Критерии авторства / Authorship criteria

Семёнова К.С., Черных О.Н. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 05.03.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 05.03.2025

13. STO NOSTROY2.33.22-2011 Reclamation systems and structures. Gabion anti-erosion structures. General requirements for design and construction. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "RosNIIPM". 2012.

14. Kaganov G.M. Hydraulic structures made of reinforced soil: monograph / G.M. Kaganov, I.M. Evdokimova, K.I. Shevchenko. M: NIA-Priroda, 2004, 607 p.

15. Khanov N.V. Bioengineering technologies for the protection and development of coastal lands of small water bodies of the agro-industrial complex / N.V. Khanov, O.N. Chernykh, S.O. Kurbanov, F.T. Dudarova. // Prirodoobustroystvo. No. 3, 2024. P. 53-63. <https://doi.org/10.26897/1997601120242-53-63>

About the authors

Kristina S. Semenova, CSc (Eng), associate professor; Scopus: 57488382700; ORCID: 0000-0002-4446-4435, SPIN-code: 426-1908; AuthorID: 912890; kristi11.05.88@yandex.ru

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

Semenova K.S., Chernykh O.N. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript, they have copyright for the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-87-96>
УДК 626/627



ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ЮМАГУЗИНСКОГО ГИДРОУЗЛА

П.М. Буренков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, корп. 2, Россия

Аннотация. Грунтовая плотина построена в 2005 г. в составе Юмагузинского гидроузла на р. Белая в Башкортостане. Цель работы – получить результаты численных фильтрационных расчетов каменно-земляной плотины, основанные на использовании уравнения нестационарной фильтрации при заданных граничных условиях; оценить эффективность работы противофильтрационных устройств как в теле, так и в основании грунтовой плотины. Численные решения получены с помощью расчетной программы «FILTR», разработанной специалистами кафедры гидравлики и гидротехнического строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета для решения задач нелинейной безнапорной фильтрации в неоднородной среде. В основу примененного алгоритма положены два численных метода: конечных элементов и локальных вариаций. Рассмотрены и обсуждены как теоретические положения, так и практические результаты, полученные в ходе решения фильтрационной задачи с использованием программы «FILTR», для нескольких вариантов конструктивных решений противофильтрационных устройств в теле грунтовой плотины Юмагузинского гидроузла. Исследованиями установлено, что конструкции противофильтрационных устройств как в теле грунтовой плотины, так и в основании сооружения продемонстрировали удовлетворительную работу.

Ключевые слова: грунтовая плотина, ядро в теле плотины, коэффициент фильтрации, фильтрационная плоская задача, напорная функция, гравийно-галечниковый грунт, рядная инъекционная и цементационная завесы

Формат цитирования: Буренков П.М. Фильтрационные расчеты грунтовой плотины Юмагузинского гидроузла // Природообустройство. 2025. № 2. С. 87-96. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-87-96>

Original article

FILTRATION CALCULATIONS OF THE EARTH DAM OF THE YUMAGUZINSKY HYDROELECTRIC COMPLEX

P.M. Burenkov

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU); 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26, building 2, Russia

Abstract. The earth dam was built in 2005 as part of the Yumaguzinsky hydroelectric complex on the Belaya River in Bashkortostan. The results of numerical filtration calculations of a stone-earth dam based on the use of the equation of unsteady filtration under specified boundary conditions are presented; to evaluate the effectiveness of anti-filtration devices both in the body and at the base of an earth dam. Numerical solutions were obtained using the “FILTR” calculation program developed by specialists of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering of the National Research Moscow State University of Civil Engineering to solve problems of nonlinear pressure-free filtration in an inhomogeneous environment. The applied algorithm is based on two numerical methods: finite elements and local variations. The article examines and discusses both theoretical provisions and practical results obtained during the solution of the filtration problem using the “FILTR” program for several design solutions for anti-filtration devices in the body of the Yumaguzinsky earth dam. Studies have shown that the structures of anti-filtration devices both in the body of the earth dam and at the base of the structure have demonstrated satisfactory performance.

Keywords: earth dam, the core in the dam body, filtration coefficient, filtration plane problem, pressure function, gravel-pebble soil, row injection and cementation curtain

Format of citation: Burenkov P.M. Filtration calculations of the earth dam of the Yumaguzinsky hydroelectric complex // Prirodoobustrojstvo. 2025. No. 2 P. 87-96. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-87-96>

Введение. Каменно-земляная плотина Юмагузинского гидроузла на р. Белая в течение многих лет представляет интерес для специалистов-гидротехников как объект масштабных и комплексных исследований [1]. Ранее [2, 3] выполнены численные исследования и анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовой плотины для варианта с центральным ядром. Всесторонние исследования конструкции грунтовой плотины невозможны без глубоких фильтрационных расчетов тела каменно-земляной насыпи [4-6]. Положение свободной поверхности фильтрационного потока в теле грунтовой плотины и бортах ее основания соответствует условиям безнапорной фильтрации и заранее является неизвестным. Отсутствие одного из граничных условий, а также заранее неизвестное положение депрессионной кривой являются основными особенностями решения такой фильтрационной задачи в два расчетных этапа.

Вначале, в упрощенной постановке задачи выполняется поиск приближенного решения с определением координат депрессионной кривой. На следующем этапе при известных начальных значениях на границах исследуемой области уточняются значения функции фильтрационного напора (напорной функции), отвечающие основному уравнению фильтрации для внутренней области. Двухэтапное решение задачи позволяет получить достоверную картину распределения напоров в теле грунтовой плотины и в ее основании и оценить временную изменчивость функции фильтрационного напора.

В ходе итерационного процесса, выполненного методом локальных вариаций, происходит многократное уточнение положения депрессионной кривой [7-9].

Материалы и методы исследований. Функцию фильтрационного напора в пространственных условиях можно получить в результате решения дифференциального уравнения неустановившейся фильтрации, записанного в форме уравнения Пуассона:

$$\frac{d}{dx}\left(K_x \frac{dH}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(K_y \frac{dH}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(K_z \frac{dH}{dz}\right) - \frac{dH}{dt} = 0, \quad (1)$$

где $H = f(x, y, z, t, h)$ – функция фильтрационного напора в расчетной области тела грунтовой плотины (для нестационарных условий); K_x, K_y, K_z – значения коэффициентов фильтрации по осям координат X, Y, Z .

Поиск аналитического или численного решения уравнения (1) весьма сложен и был выполнен в ходе минимизации некоторого, специальным образом подобранного функционала Φ . Для этого был разработан специальный расчетный

алгоритм, основанный на синтезе методов конечных элементов и локальных вариаций. Одной из основ метода локальных вариаций является так называемый принцип минимума исследуемой системы, означающий, что «минимум функционала Φ всей системы соответствует минимуму функционала в локальных областях, составляющих эту систему». Такой подход используется, например, в расчетных исследованиях анизотропной фильтрации в теле грунтовых плотин и их основаниях [5].

Решение сформулированной фильтрационной задачи было сведено к поиску такой функции фильтрационного напора $H(x, y, z, t)$, которая была бы непрерывной внутри замкнутой области Ω , отвечала бы начальным и граничным условиям поставленной задачи и обеспечивала бы минимум функционалу Φ , построенному на основе этой функции таким образом, что условие экстремума для этого функционала ($\delta\Phi = 0$) являлось бы общим уравнением неустановившейся фильтрации [5].

Таким образом, задача вариационного исчисления заключалась в определении минимума (экстремума) функционала Φ во всех локальных исследуемых областях, что в целом соответствовало минимуму функционала всей системы. Искомая функция фильтрационного напора получена в процессе решения поставленной задачи.

Область исследований, выбранная для расчетов, включила в себя тело грунтовой плотины и часть ее основания. Граничные условия на одной части границы были заданы напорами, а на другой части – условием непроницаемости.

По предложению Н.А. Анискина [6, 9], моделирование неоднородности материала тела плотины и ее основания по значениям коэффициентов фильтрации достаточно эффективно было выполнено методом конечных элементов (МКЭ). Для пространственных условий решаемой задачи расчетная область была разбита на несколько локальных зон, состоящих из элементов, окружающих рассматриваемый расчетный узел. Для принятых условий нелинейной фильтрации в анизотропном грунте каждому конечному элементу тела плотины присваивались свои значения коэффициентов фильтрации K_x, K_y и K_z согласно осям координат. Кроме того, для каждого конечного элемента принимался свой показатель степени n , характеризующий фильтрационный поток.

За базовый расчетный элемент был принят объемный восьмиугольник произвольной формы (рис. 1), достаточно точно аппроксимирующий

исследуемую область, состоящую, в том числе, из таких конструктивных элементов, как цементационная завеса, стена в грунте и т.п. Согласно рекомендациям [7] для восьмиугольных элементов была введена локальная система координат с осями ξ , η и ζ , в которой координаты узлов элементов вдоль каждой из осей изменялись от -1 до $+1$.

Фильтрационный расход и его величина имеют важное значение в исследованиях и расчетном обосновании грунтовых плотин. Значение фильтрационного расхода определяется по поверхности, близкой по своему положению к эквипотенциали и проходящей от кривой депрессии, то есть верхней границы потока, до водонепроницаемого основания – нижней границы фильтрационного потока. По рекомендации [4], в качестве такой поверхности принималась поверхность, проходящая по центрам тяжести элементов одного слоя вдоль оси грунтовой плотины. При этом общий фильтрационный расход принимался равным сумме фильтрационных расходов в каждом элементе указанной поверхности.

Расчетная зависимость для определения расхода в i -м элементе сетки была записана следующим образом [10]:

$$Q_i = V_i W_i / (\cos \alpha \cos \beta), \quad (2)$$

где $V_i = \sqrt{(V_x)_i^2 + (V_y)_i^2 + (V_z)_i^2}$ – результирующая скорости фильтрации в центре рассматриваемого элемента; $(V_x)_i$, $(V_y)_i$, $(V_z)_i$ – составляющие скорости потока в центре того же элемента; W_i – площадь поперечного сечения элемента, соответствующая пересечению вертикальной плоскости, проходящей через центр элемента, с гранями рассматриваемого элемента; $\cos \alpha = (V_z)_i / (V_{yz})_i$ – косинус угла между проекцией результирующей скорости V_i и плоскостью XOZ ; $\cos \beta = (V_{yz})_i / V_i$ – косинус угла между результирующей скоростью V_i и плоскостью XOZ .

Результаты и их обсуждение. Решение фильтрационной задачи для исследуемой области грунтовой плотины выполнено в плоской постановке.

На первом этапе была выполнена проверка влияния боковых призм из гравийно-галечникового грунта на фильтрационный процесс в теле грунтовой плотины. Для определения степени влияния боковых призм грунтовой плотины на картину фильтрации была решена следующая фильтрационная задача в плоской постановке.

Рассматривалось русловое сечение грунтовой плотины, имеющее высоту 67,0 м [4, 8, 11]. Моделировалась вся конструкция грунтовой плотины включая центральное ядро из суглинка с коэффициентом фильтрации $K_f = 0,01$ м/сут., переходные зоны с коэффициентом фильтрации

$K_f = 1$ м/сут. и боковые призмы с коэффициентом фильтрации гравийно-галечникового грунта, равным $K_f^{np} = 90$ м/сут. Грунты основания в рассмотренных сечениях характеризуются коэффициентами фильтрации от 90 м/сут. на поверхности до $3 \div 5$ м/сут. на глубине более 12 м. На достаточном заглублении от поверхности эта величина снижается до 0,3 м/сут.

В качестве противофильтрационных элементов в основании плотины были рассмотрены: пятирядная инъекционная завеса под ядром на глубину ~ 12 м и двухрядная цементационная завеса глубиной ~ 110 м. В качестве расчетного уровня в верхнем бьефе была принята отметка ФПУ 270,0 м, в нижнем бьефе – отметка 215,7 м.

На рисунке 2 показаны разбивка расчетной области на конечные элементы и ее зонирование по коэффициентам фильтрации.

Результаты решения нестационарной фильтрационной задачи для конструкции грунтовой плотины с ядром из суглинка и боковыми призмами представлены на рисунке 3 картиной распределения эквипотенциалей в расчетной области. Депрессионная кривая в низовой призме практически горизонтальна. Перепад между точкой на выходе из ядра и точкой на выходе из боковой призмы составляет при напоре 54,3 м, примерно 0,8 м на участке длиной около 110 м, то есть уклон депрессионной кривой равен $\sim 0,007$.

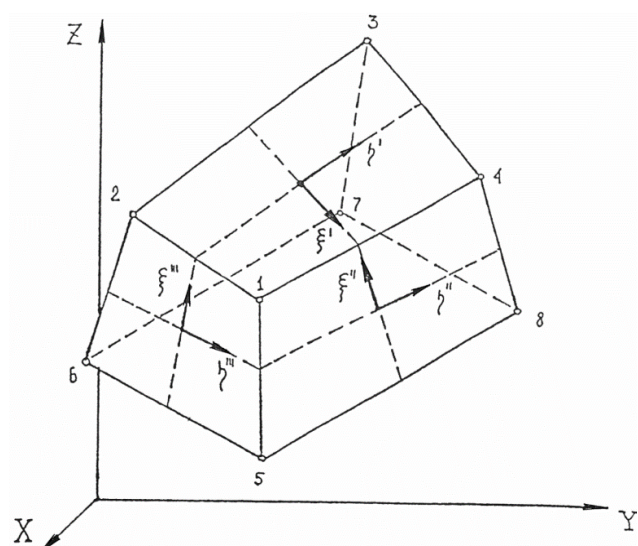


Рис. 1. Форма элемента в глобальных координатах и ориентация в нем локальных координат

Fig. 1. The shape of the element in global coordinates and the orientation of local coordinates in it

Таким образом, наличие боковой призмы из гравийно-галечникового грунта незначительно сказывается на процессе фильтрации, что вызвано достаточно большим коэффициентом фильтрации данного материала. Во всех дальнейших расчетах область фильтрации включала в себя ядро из суглинка и основание. Призмы из гравийно-галечникового грунта не рассматривались.

Далее был рассмотрен вариант грунтовой плотины с ядром из суглинка и противофильтрационными устройствами в основании. Фильтрационная задача решалась в плоской постановке с выбором трех характерных сечений в теле грунтовой плотины и основания (рис. 4) и для нескольких вариантов конструкций противофильтрационного устройства (ПФУ).

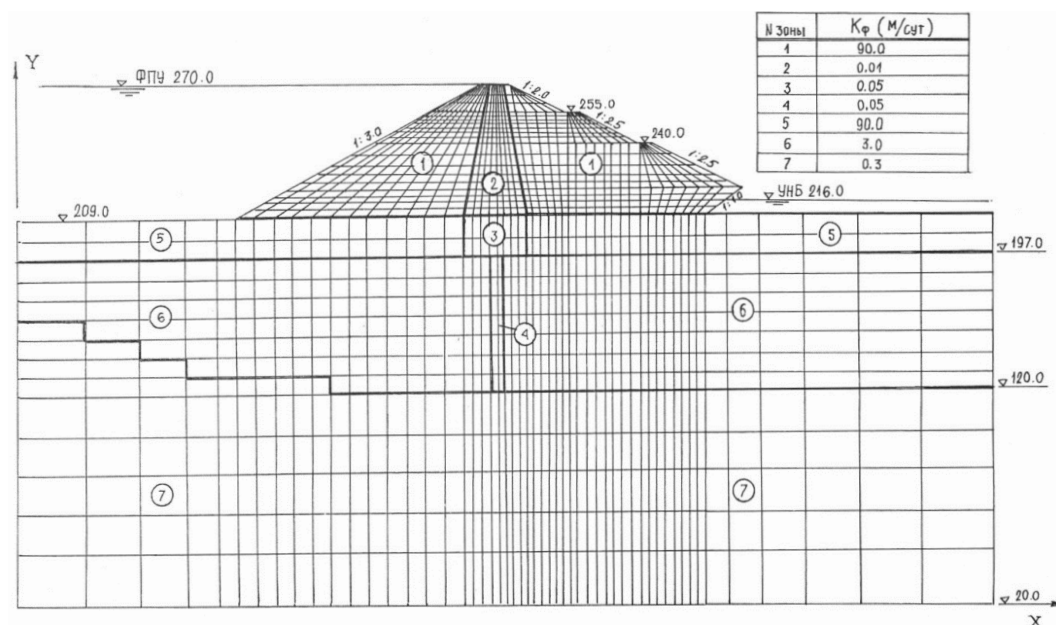


Рис. 2. Разбивка на конечные элементы плотины с ядром и боковыми призмами из гравийно-галечникового грунта

Fig. 2. Breakdown into finite elements of the dam with a core and lateral prisms made of gravel and pebble soil

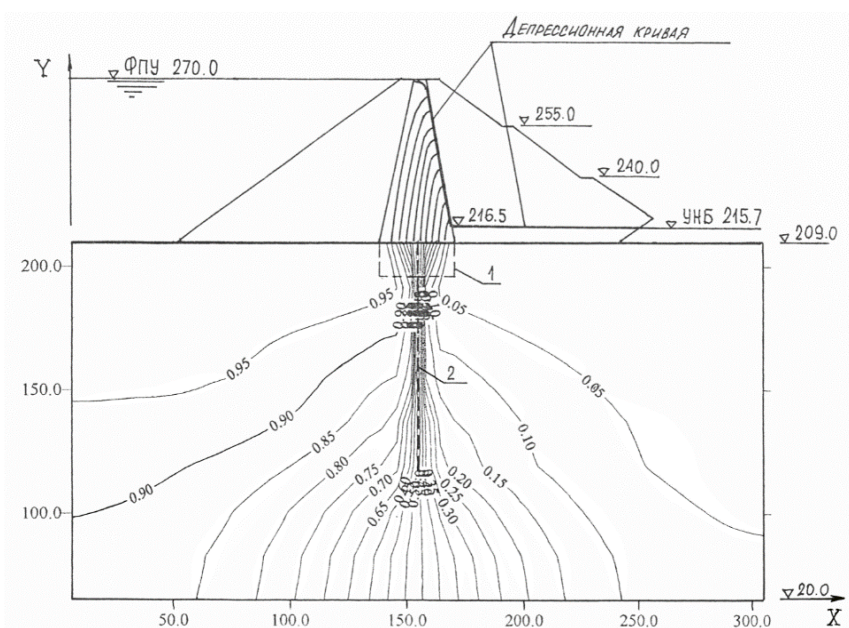


Рис. 3. Результаты решения для плотины с ядром из суглинка и боковыми призмами из гравийно-галечникового грунта:

1 – граница пятирядной инъекционной завесы; 2 – граница двухрядной инъекционной завесы

Fig. 3. Results of the solution for a dam with a loam core and side prisms made of gravel-pebble soil (1 – the border of a five-row injection curtain; 2 – the border of a two-row injection curtain)

В качестве расчетного выбрано сечение 1-1 в левобережном примыкании грунтовой плотины, где высота водоподпорного сооружения составляет ~47,0 м. В данном сечении грунты, слагающие основание сооружения, имеют коэффициент фильтрации в верхних слоях в пределах от 3 до 5 м/сут., на глубине – до 0,3 м/сут. В основании грунтовой плотины устроена двухрядная цементационная завеса с максимальной глубиной залегания ~90 м. Значения коэффициента фильтрации приняты равными 0,01 м/сут. для суглинистого ядра в теле плотины и 0,1 м/сут. – для цементационной завесы в основании сооружения. Сетка МКЭ с зонированием материалов сечения 1-1 представлена на рисунке 5.

В русловой части грунтовой плотины (с максимальной высотой, равной 67,0 м) в качестве расчетного было принято сечение 2-2. Поверхностный слой основания, сложенный гравийно-галечниковым грунтом, характеризовался коэффициентом фильтрации $K_{\phi} = 90$ м/сут. На более низких отметках расположены грунты с коэффициентом фильтрации K_{ϕ} от 5 до 0,3 м/сут. Под ядром в основании водоподпорного сооружения устроены пятирядная инъекционная завеса с глубиной залегания ~12 м и двухрядная завеса на глубину ~100 м. Значения коэффициента фильтрации материалов, из которых были выполнены цементационные завесы, принимались равными 0,5 и 0,1 м/сут. соответственно.

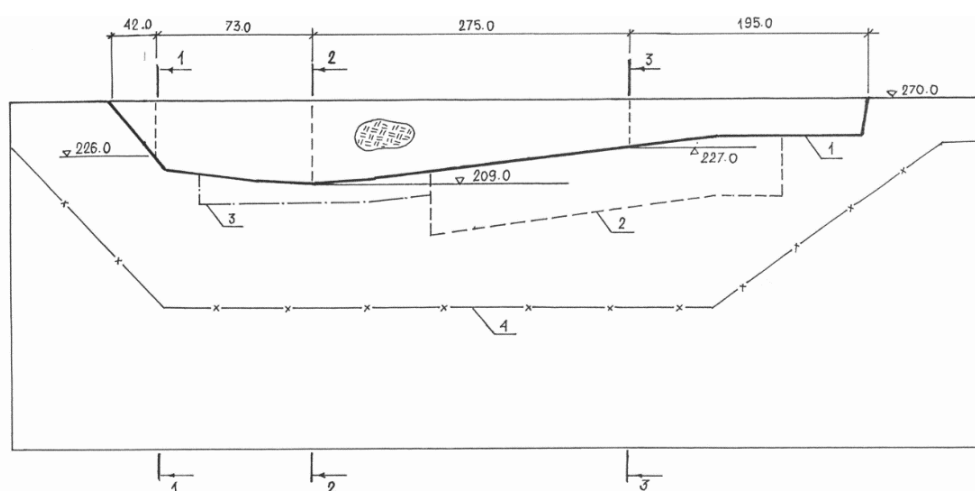


Рис. 4. Схема к фильтрационному расчету грунтовой плотины:

1 – подошва грунтовой плотины; 2 – граница «стены в грунте»; 3 – граница пятирядной инъекционной завесы; 4 – граница двухрядной инъекционной завесы

Fig. 4. Diagram for the filtration calculation of an earth dam

(1 – bottom of an earth dam; 2 – boundary of the “wall in the ground”; 3 – border of a five-row injection curtain; 4 – border of a two-row injection curtain)

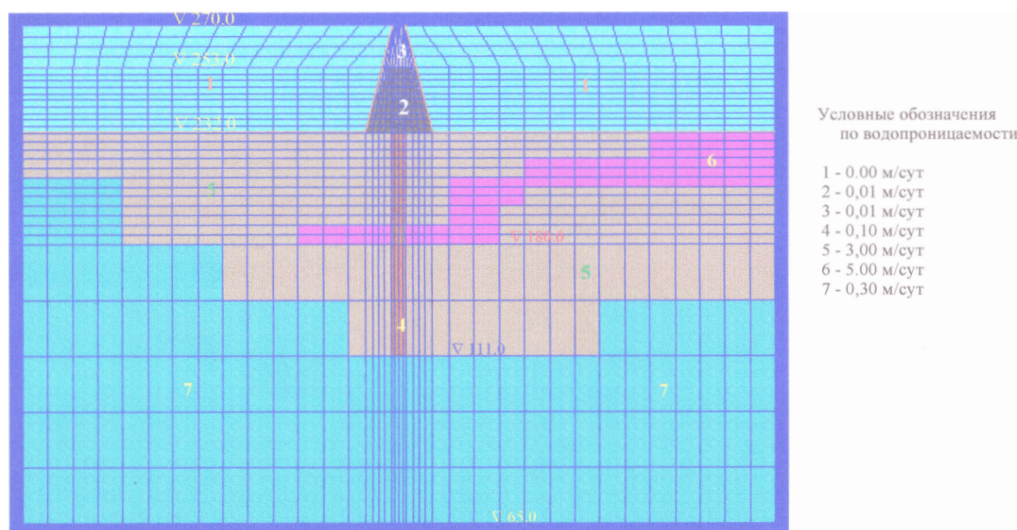


Рис. 5. Сетка разбивки на конечные элементы в сечении 1-1 с зонированием по водопроницаемости

Fig. 5. Finite element breakdown grid in section 1-1 with water permeability zoning

Сетка МКЭ расчетной области в сечении 2-2 представлена на рисунке 6.

На правобережном участке грунтовой плотины, где ее высота составляет $\sim 46,0$ м, в качестве расчетного было принято сечение 3-3. В основании водоподпорного сооружения расположены грунты, характеризующиеся значениями коэффициента фильтрации, равными от 0,3 до 3,0 м/сут. На глубине около 50...60 м присутствует линза из гравийно-галечникового грунта с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} = 35$ м/сут. Под ядром водоподпорного сооружения устроена стена в грунте с глубиной подошвы ~ 50 м, выполненная из материала со значением коэффициента

фильтрации $K_{\phi} = 0,005$ м/сут., а также двухрядная цементационная завеса с отметкой подошвы $\sim 160,0$ м, выполненная из материала со значением коэффициента фильтрации $K_{\phi} = 0,1$ м/сут. Сетка МКЭ данного сечения показана на рисунке 7.

Численные решения двумерной фильтрационной задачи для рассмотренных расчетных сечений и вариантов наполнения водохранилища до отметок воды в верхнем бьефе, равных ФПУ и НПУ, изображены полями эквипотенциалей фильтрационной сетки на рисунках 8-12.

Расчетные значения удельных фильтрационных расходов приведены в таблице.

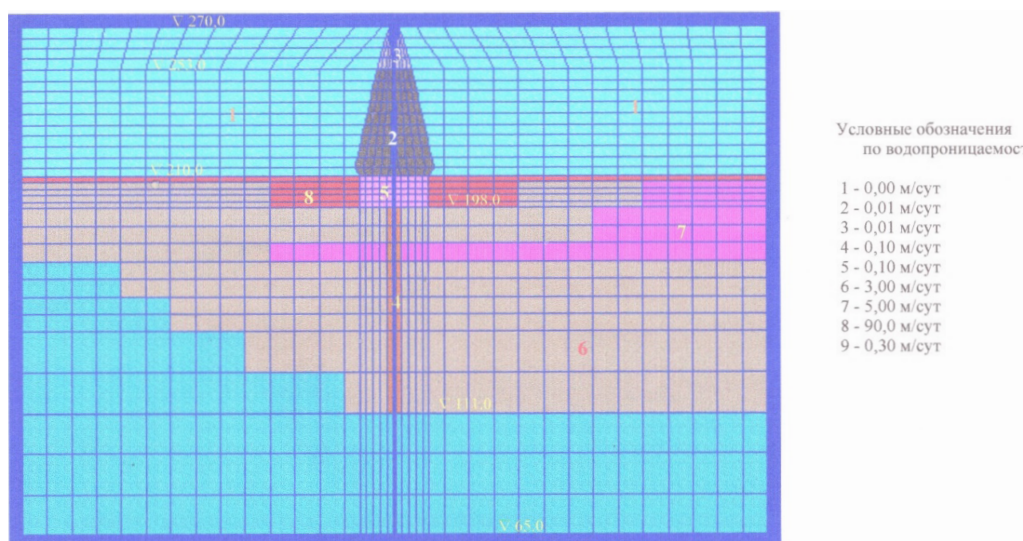


Рис. 6. Сетка разбивки на конечные элементы в сечении 2-2 с зонированием по водопроницаемости

Fig. 6. Finite element breakdown grid in section 2-2 with water permeability zoning

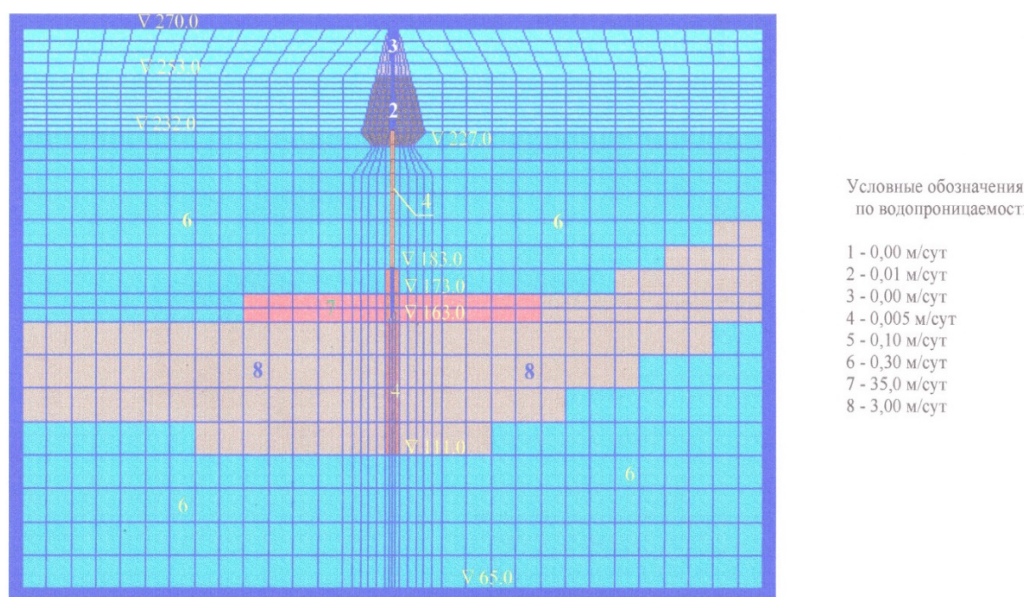


Рис. 7. Сетка разбивки на конечные элементы в сечении 3-3 с зонированием по водопроницаемости

Fig. 7

Таблица 1. Удельные фильтрационные расходы
в расчетных сечениях грунтовой плотины, $\text{м}^3/\text{с}$

Table 1. Specific filtration flow rates in the calculated sections of the earth dam, m^3/s

Расчётное сечение Calculated section	Расчётный случай (отметка верхнего бьефа) / The calculated case (the upstream mark)	
	$\nabla \text{ФПУ} / \nabla \text{FRL}$	$\nabla \text{НПУ} / \nabla \text{NRL}$
Сечение 1 / Section 1	$2,55 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Сечение 2 / Section 2	$0,51 \cdot 10^{-3}$	$0,35 \cdot 10^{-3}$
Сечение 3 / Section 3	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

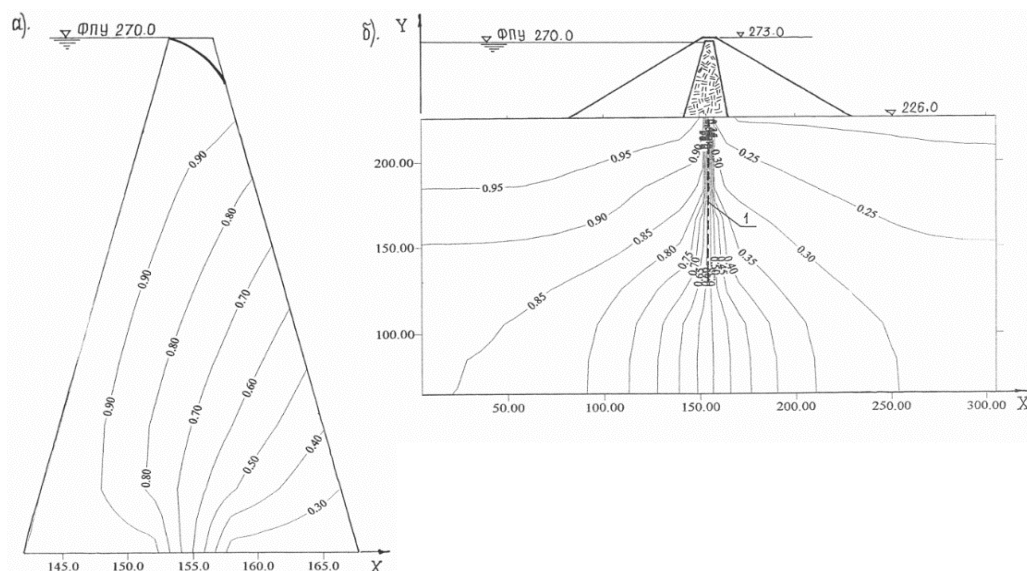


Рис. 8. Распределение эквипотенциалей в сечении 1-1
для плотины с ПФУ в основании и $\nabla \text{УВБ} = \nabla \text{ФПУ}$ (плоская задача):
а) в ядре грунтовой плотины; б) в основании под плотиной; 1 – ось цементационной завесы

Fig. 8. Distribution of equipotentials in section 1-1
for a dam with AFD at the base and $\nabla \text{UBL} = \nabla \text{FRL}$ (plane problem)
in the core of the earth dam; b) at the base under the dam; 1 – axis of the cementation curtain

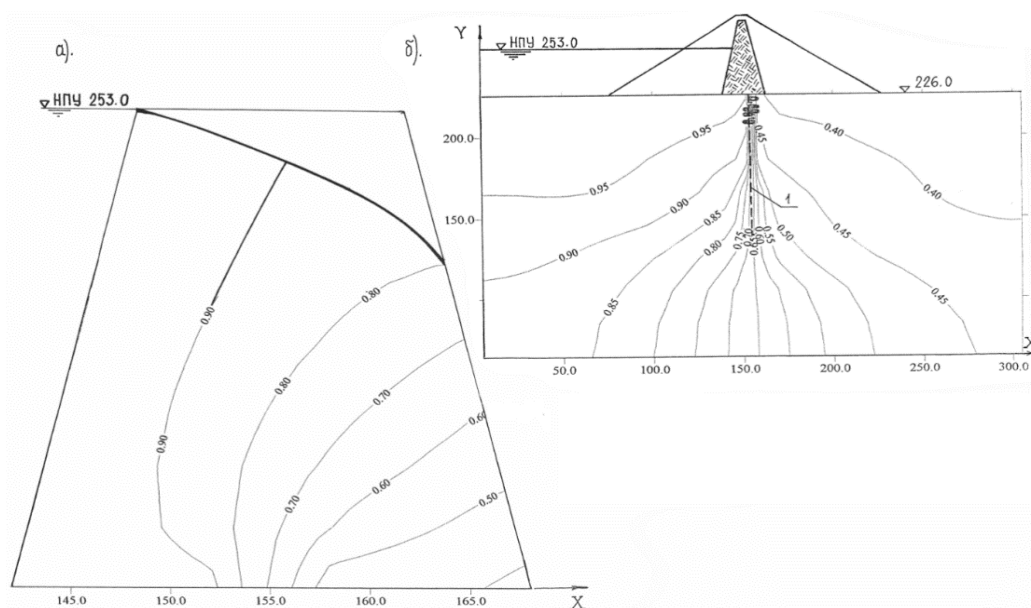


Рис. 9. Распределение эквипотенциалей в сечении 1-1
для плотины с ПФУ в основании и $\nabla \text{УВБ} = \nabla \text{НПУ}$ (плоская задача):
а) в ядре грунтовой плотины; б) в основании под плотиной; 1 – двухрядная цементационная завеса

Fig. 9. Distribution of equipotentials in section 1-1
for a dam with AFD at the base and $\nabla \text{UBL} = \nabla \text{of the NRL}$ (plane problem)
a) in the core of the earth dam; b) at the base under the dam; 1 – double-row cementation curtain

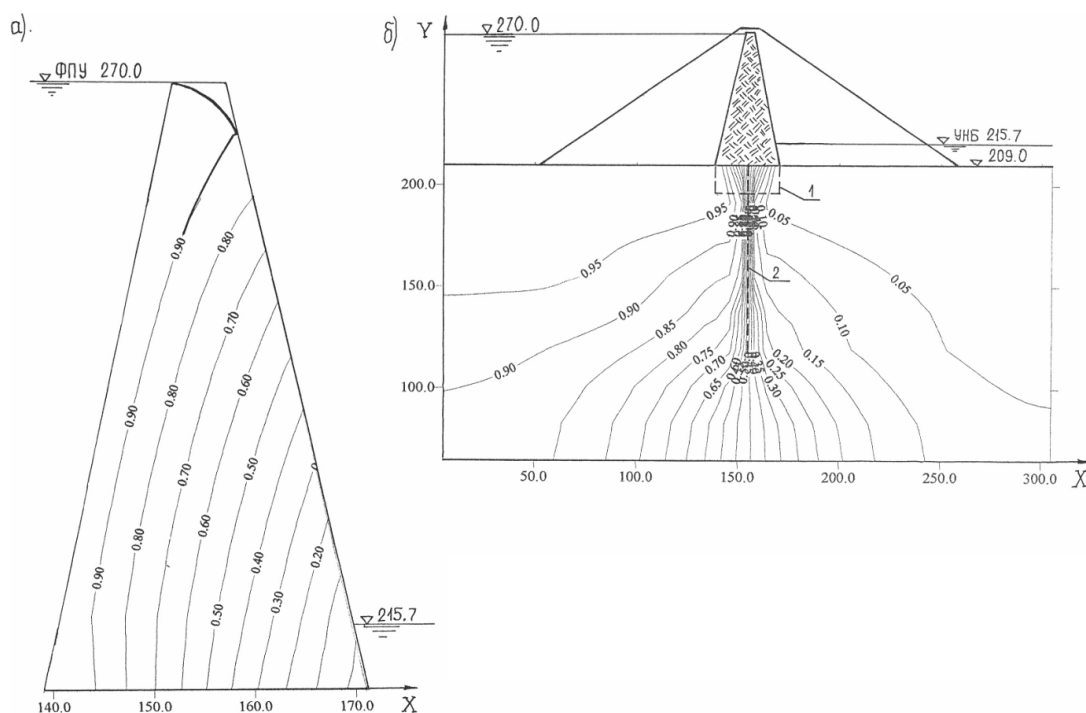


Рис. 10. Распределение эквипотенциалей в сечении 2-2 для плотины с ПФУ в основании и $\nabla \text{УВБ} = \nabla \text{ФПУ}$ (плоская задача):

а) в ядре грунтовой плотины; б) в основании под плотинной;

1 – пятирядная цементационная завеса; 2 – двухрядная цементационная завеса

Fig. 10. Distribution of equipotentials in section 2-2 for a dam with AFD at the base and $\nabla \text{UBL} = \nabla$ of the FRL (plane problem)

а) in the core of the earth dam; б) at the base under the dam;

1 – five-row cementation curtain; 2 – two-row cementation curtain

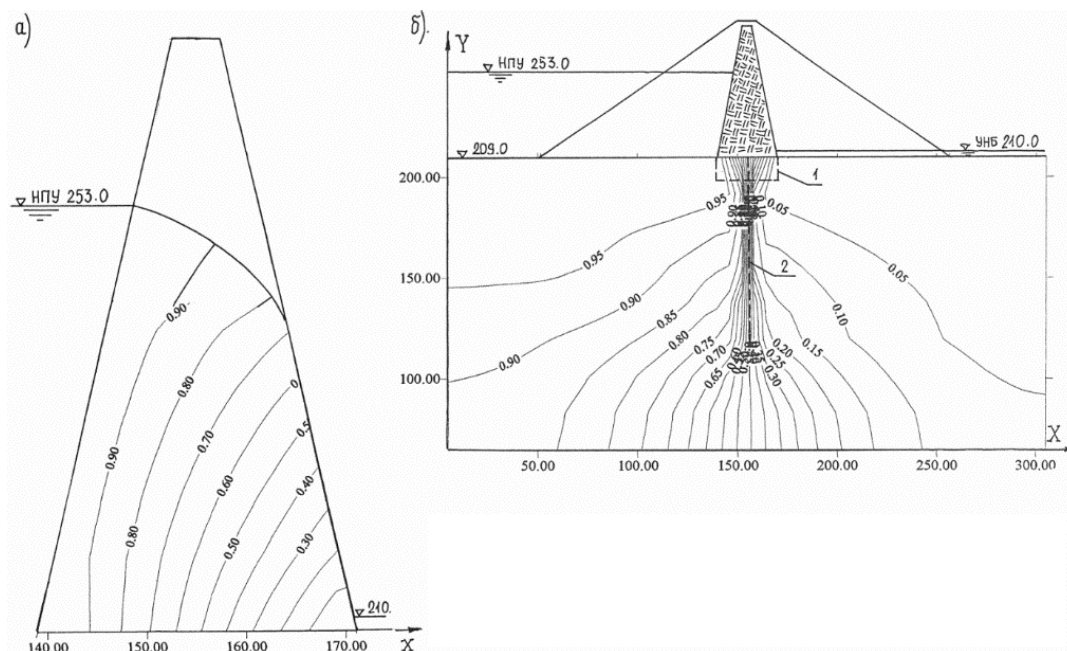


Рис. 11. Распределение эквипотенциалей в сечении 2-2 для плотины с ПФУ в основании и $\nabla \text{УВБ} = \nabla \text{НПУ}$ (плоская задача):

а) в ядре грунтовой плотины; б) в основании под плотинной;

1 – пятирядная цементационная завеса; 2 – двухрядная цементационная завеса

Fig. 11. Distribution of equipotentials in section 2-2 for a dam with AFD at the base and $\nabla \text{UBL} = \nabla$ of the NRL (plane problem):

а) in the core of the earth dam; б) at the base under the dam;

1 – five-row cementation curtain; 2 – double-row cementation curtain

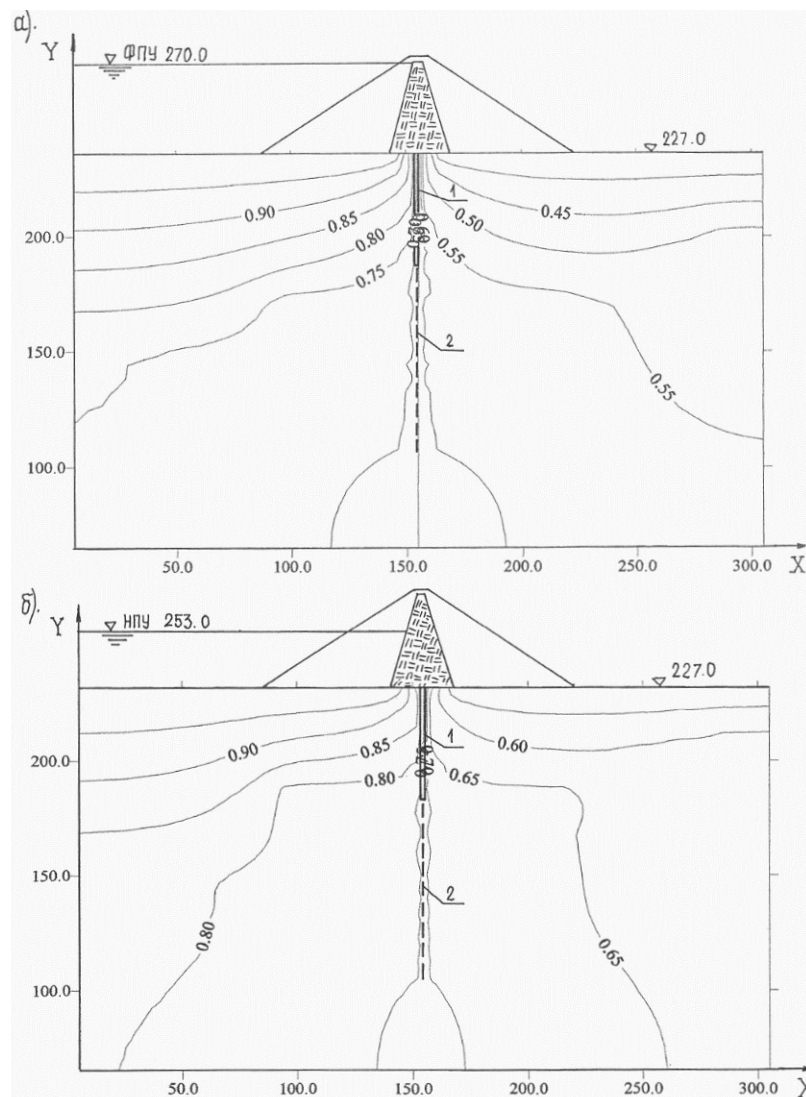


Рис. 12. Распределение эквипотенциалей в сечении 3-3 для плотины с ПФУ в основании:

а) $\nabla \text{УВБ} = \nabla \text{ФПУ}$; б) $\nabla \text{УВБ} = \nabla \text{НПУ}$

1 – стена в грунте; 2 – двухрядная цементационная завеса

Fig. 12. Distribution of equipotentials in section 3-3 for a dam with AFD at the base:

а) $\nabla \text{UBL} = \nabla \text{FRL}$, б) $\nabla \text{UBL} = \nabla \text{NRL}$;

1 – wall in the soil; 2 – double-row cementation curtain

Выводы

Выполненные расчетные фильтрационные исследования показали, что падение депрессионной кривой в суглинистом ядре грунтовой плотины Юмагузинского гидроузла составляет $\sim 5,0 \div 6,0$ м при уровне верхнего бьефа на $\nabla \text{ФПУ}$ и $\sim 9,0 \div 10,0$ м при уровне верхнего бьефа на $\nabla \text{НПУ}$.

Оценочные значения фильтрационных расходов, полученные умножением величин удельных расходов на осредненные длины участков грунтовой плотины, составляют $\sim 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$

для случая с отметкой ФПУ и $\sim 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ для случая с отметкой НПУ.

Фильтрационный расход через ядро в теле плотины на несколько порядков ниже фильтрационного расхода, проходящего через основание сооружения. Величина суммарного фильтрационного расхода является незначительной.

Рассмотренные в исследованиях конструкции противофильтрационных устройств как в теле грунтовой плотины, так и в основании сооружения продемонстрировали их удовлетворительную работу.

Список использованных источников

1. Техничко-экономическое обоснование строительства Юмагузинского водохранилища на реке Белой в Республике Башкортостан. Разд. II. Общая схема технических мероприятий. Кн. 1. Гидроузел комплексного назначения. Ростов-на-Дону, 1999.
2. Буренков П.М. Напряженно-деформированное состояние Юмагузинской плотины в пространственной постановке // Гидротехника. 2024. № 2. С. 15-22.
3. Буренков П.М. Напряженно-деформированное состояние плотины Юмагузинского гидроузла // Строительство: наука и образование. 2023. № 13 (2). С. 51-73.
4. То Ван Тхань. Влияние водопроницаемости грунтов тела и основания плотины на параметры фильтрационного потока (плоская и пространственная задачи): Дис. ... канд. техн. наук. М.: Московский государственный строительный университет, 2004. 199 с.: ил.
5. Махсы Мемарианфарда. Анизотропная фильтрация в плотинах и основаниях: Дис. ... канд. техн. наук. М.: Московский государственный строительный университет, 2010. 159 с.: ил.
6. Анискин Н.А., Сергеев С.А. Численные решения задач неустановившейся фильтрации в гидротехнике // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 11. С. 1478-1487.
7. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.
8. Гидротехнические сооружения: Учебник / Под ред. Л.Н. Рассказова. Ч. 1, 2. М.: АСВ, 2011. 581 с.
9. Анискин Н.А. Фильтрационно-температурный режим системы «плотина-основание»: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: Московский государственный строительный университет, 2009. 416 с.: ил.
10. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин: Учебное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1987. 304 с.
11. Отчет по НИР «Исследование сооружений Иштугановского гидроузла на реке Белой». Разд. I «Исследование прочности и устойчивости грунтовой плотины и рекомендации по размещению КИА (окончательный)». МИСИ, 1983.

Об авторе

Павел Михайлович Буренков, старший преподаватель, РИНЦ Author ID675934; ID Scopus: 57190806217; ORCID: 0000-0002-3452-8909; burenkovpm@gmail.com

Критерии авторства / Authorship criteria

Буренков П.М. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.03.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 15.03.2025

References

1. Feasibility study of the construction of the Yumaguzinsky reservoir on the Belaya River in the Republic of Bashkortostan. Section II. The general scheme of technical measures. Book 1. Complex purpose hydroelectric power plant, Rostov-on-Don, 1999.
2. Burenkov P.M. Stress-strain state of the Yumaguzinskaya dam in spatial formulation // Hydraulic Engineering. 2024. No. 2. P. 15-22.
3. Burenkov P.M. The stress-strain state of the dam of the Yumaguzinsky hydroelectric complex // Construction: science and education. 2023. 13(2). P. 51-73.
4. To Van Thanh. The influence of water permeability of the soil of the body and base of the dam on the parameters of the filtration flow (planar and spatial tasks): dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 05.23.07. Moscow: Moscow State University. builds. Univ., FFF122004. 199 p.
5. Mahry Memarianfard. Anisotropic filtration in dams and foundations: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.07. Moscow: Moscow State University. Univ., 2010. 159 p.: ill.
6. Aniskin N.A. Numerical solutions to problems of unsteady filtration in hydraulic engineering / N.A. Aniskin, S.A. Sergeev // Bulletin of MGSU. 2022. Vol. 17. Issue 11. pp. 1478-1487.
7. Zenkevich O.S. Finite element method in engineering. Moscow: Mir, 1975. 541 s.
8. Hydraulic engineering structures. Textbook. Edited by L.N. Rasskazov, parts 1 and 2. Moscow: DIA, 2011. 581 p.
9. Aniskin Nikolai Alekseevich. Filtration and temperature regime of the "dam-base" system: dissertation... Doctor of Technical Sciences: 05.23.07. Moscow: Moscow State University. builds. Univ., 2009. 416 p.
10. Goldin A.L., Rasskazov L.N. Designing of ground dams. Textbook. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 304 p.
11. Research report "Investigation of the structures of the Ishtuganovsky hydroelectric complex on the Belaya River". Section I. "Investigation of the strength and stability of an underground dam and recommendations for the placement of KIA (final), MISI, 1983.

About the author

Pavel M. Burenkov, Senior Lecturer, RSCI Author ID675934; ID Scopus: 57190806217; ORCID: 0000-0002-3452-8909; burenkovpm@gmail.com

Burenkov P.M. performed theoretical research, on the basis of which he generalized and wrote a manuscript. Burenkov P.M. has a copyright for the article and is responsible for plagiarism.

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-97-104>

УДК 532.5:556.53

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТОКОВ
НА УЧАСТКЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РУСЛЕ РЕКИ ТОМЬ****Т.В. Пилипенко^{1✉}, Н.П. Карпенко^{2✉}, Д.Е. Куприянов^{1,3}, М.А. Ширяева⁴**¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); г. Новосибирск, 630008, ул. Ленинградская, 113, Россия² Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия³ ООО Запсибгипроводхоз; 30087, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 167, Россия⁴ Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

Аннотация. Исследования посвящены изучению изменений скоростей потока и параметров устойчивости русла, связанных с проектируемой разработкой карьера. В исследованиях изучались характеристики гидравлического потока на участке реки Томь, расположенном между гидрологическими постами Томск и Козюлино. Геометрические параметры и гидрологические характеристики, включая модули расхода и модули сопротивления, были рассчитаны для поперечных сечений, представляющих как существующее, так и проектное состояние. На этом основывается оценка понижения уровня воды и безопасности судоходства с учетом принятых проектных уровней и расходов воды. Рассчитана модель течения, основанная на плановых линиях тока и криволинейных поперечниках, полученных в результате русловой съемки. Плановая линия тока представляет собой направление вектора средней скорости на вертикали, а криволинейные поперечники ортогональны этим линиям тока. Сочетание этих элементов формирует плановую модель течения, которая определяет плановые струи (поток между линиями тока) и полосы плана течений (поток между поперечниками). Формулы Шези и Маннинга используются для выражения уклона свободной поверхности вдоль произвольной плановой линии тока. Не размывающие и размывающие скорости были рассчитаны для смоделированных поперечных сечений вдоль линий тока в сценариях до разработки карьера и после нее. Анализ выявил значительное снижение скоростей течения и небольшое увеличение как не размывающих, так и размывающих скоростей, после разработки карьера. Максимальное расчетное понижение уровня воды составило 0,0186 м, что существенно ниже допустимого порога в 0,05 м и что свидетельствует о минимальном воздействии. В количественном выражении не размывающие скорости увеличились с 0,55...0,65 до 0,63...0,75 м/с, а размывающие скорости увеличились с 0,7...0,85 до 0,82...0,98 м/с после разработки карьера. Данный подход к моделированию обеспечивает основу для обоснования и прогнозирования гидравлического поведения на исследуемом участке реки.

Ключевые слова: уровень воды, расход воды, неразмывающие скорости, размывающие скорости, гидравлический поток, гидрологические характеристики

Формат цитирования: Пилипенко Т.В., Карпенко Н.П., Куприянов Д.Е., Ширяева М.А. Моделирование гидравлических потоков на участке проектируемого месторождения песчано-гравийных материалов в русле реки Томь // Природообустройство. 2025. № 2. С. 97-104. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-97-104>

Scientific article

HYDRAULIC FLOW MODELING OF A PROPOSED SAND AND GRAVEL MINING SITE IN THE TOM RIVER

T.V. Pilipenko¹✉, N.P. Karpenko²✉, D.E. Kupriyanov^{1,3}, M.A. Shiryayeva⁴¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, 630008, Leningradskaya St., 113, Russia² A.N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation; 127434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, building 2, Russia³ LLC Zapsibgiprovodkhoz, 30087, Novosibirsk region, Novosibirsk, Nemirovicha-Danchenko str. 167, Russia⁴ F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of Rospotrebnadzor, 2 Semashko str., Mytishchi, 141014, Russia

Abstract. This study is focused on changes in flow velocities and channel stability parameters associated with the projected quarry mining operation. The paper deals with the hydraulic flow characteristics of the Tom River site located between the Tomsk and Koziulino hydrological posts. Geometric parameters and hydrological characteristics, including flow modules and resistance modules, were estimated for cross sections representing both the existing and the design condition. The water level drawdown and navigational safety assessment is based on these calculations, taking into account the adopted design water levels and discharges. A flow model based on planned current lines and curvilinear cross sections obtained from the channel survey were carried out. The planned current line represents the vertical direction of the mean velocity vector and the curvilinear cross sections are orthogonal to these current lines. The combination of these elements forms a plan flow model that defines plan jets (flow between current lines) and plan flow bands (flow between crossplots). The Shezi and Manning formulas are used to express the free surface slope along an arbitrary plan flow streamline. Non-erosive and erosive velocities were calculated for modelled cross sections along current lines in pre- and post-quarry scenarios. The analysis revealed a significant decrease in flow velocities and a slight increase in both non-degradation and scour velocities after quarrying. The maximum calculated water level drop was 0.0186 m, which is significantly lower than the acceptable threshold of 0.05 m, indicating minimal impact. Quantitatively, non-degradation velocities increased from 0.55-0.65 m/s to 0.63-0.75 m/s, and degradation velocities increased from 0.7-0.85 m/s to 0.82-0.98 m/s following quarry development. This modelling approach provides a basis for understanding and predicting hydraulic behavior in the river reach under study.

Keywords: water level, water flow rate, non-erosive velocities, erosive velocities, hydraulic flow, hydrological characteristics

Format of citation: Pilipenko T.V., Karpenko N.P., Kupriyanov D.E., Shiryayeva M.A. Hydraulic flow modeling of a proposed sand and gravel mining site in the Tom river // Prirodobustroystvo. 2025. № 2. P. 97-104. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-97-104>

Введение. Месторождение песчано-гравийных материалов расположено непосредственно в русле реки Томь на территории Томской области. Река Томь, являясь правым притоком реки Обь и вторым по водности притоком после Иртыша, протекает по территории Республики Хакасия, Кемеровской и Томской областей. Длина реки составляет 827 км, ширина поймы – до 3 км, перепад высот от истока до устья – 1185 м, площадь водосбора – 62 тыс. км². Исток Томи находится на западных склонах Абаканского хребта, на стыке с Кузнецким Алатау, в Хакасии [1].

Верхним течением реки Томь является расстояние от истока до устья Кондомы (ее левого притока), расположенного в районе г. Новокузнецка. На этом отрезке длина реки составляет 267 км. В верхней части участка течение реки имеет горный характер, скорость течения высокая и достигает 2,1...2,8 м/с, длина реки – узкая с крутыми бортами, пойма

отсутствует. После впадения в Томь рек Теба, Уса и Мрассу русло реки и ее долина расширяются, скорость течения уменьшается до 1 м/с и ниже, река становится полноводной, все более приобретает характер равнинной реки. Среднее течение Томи – от г. Новокузнецка до г. Юрги. Здесь Томь – типично равнинная река с медленным течением (0,1...0,3 м/с). Ниже Томска река становится широко пойменной, часто подразделяется на рукава и протоки, в некоторых местах ее глубина может достигать 10 м. Устье Томи находится на территории Томской области, в 45 км от Томска. В устье река разливается на несколько протоков, образуя с Обью остров Пушкарев [2].

Среднегодовое количество воды в устье составляет 1100 м³/с, годовой сток – 35,0 км³/год. Средняя скорость течения составляет 0,33 м/с, достигая на перекатах 1,75 м/с. Река Томь замерзает в конце октября – начале ноября, вскрывается в конце апреля. Ледостав продолжается

в среднем 158-160 дней, и в среднем 175 дней в год река свободна от льда. Дождевое питание реки составляет 25...40%, снеговое – 35...55%, грунтовое – 25...35% годового стока [3].

Рассматриваемый участок проектируемого месторождения расположен в нижнем течении между двумя гидропостами: Томск и Козюлино (рис. 1).

Река Томь на значительном расстоянии течет по границе Томь-Колыванской складчатой зоны и Западно-Сибирской равнины, местами четко разграничивая эти геологические и физико-географические мегаструктуры. Граница между ними в долине Томи проходит по линии с. Петрово – с. Попадейкино – западная окраина г. Северска (район дробильного комбината и бывшей деревни Игалково, 45 км от устья) [1].

Материалы и методы исследований.

Максимальные уровни отмечаются во время весеннего ледохода, по многолетним сведениям, примерно в последнюю декаду апреля. Ввиду географических особенностей и геологического строения русла, а именно крутых поворотов, скальных выступов и пр., на нижней Томи нередко наблюдаются заторные явления. При этом подъемы воды в половодье могут достигать 11...12 м. Графики колебаний уровней воды по гидропостам Козюлино и Томск за характерные годы (многоводный 2006 г., маловодный 2011 г.) построены и представлены на рисунке 2.

Расчетные уровни и расходы воды выбираются на основании: графиков колебания уровня воды по гидропостам Томск и Козюлино; построенной на основе многолетних данных кривой зависимости расходов воды от среднегодовых значений расходов воды; обеспеченности соответствующих им уровней воды и уклонов свободной поверхности по гидропосту Томск [1], а также кривой связи расходов и уровней воды по гидропосту Томск (рис. 3).

Для определения расхода воды в протоке необходимо произвести расчет того, как распределяется расход воды по рукавам. Кроме того, необходимо наметить и расчетные сечения, которые располагаются в характерных местах русла. Геометрические характеристики сечений записываются координатным способом. Система координат располагается следующим образом: поперечная координата совпадает с линией сечения, ее начало расположено на урезе одного из берегов, а вертикальная координата представляет собой

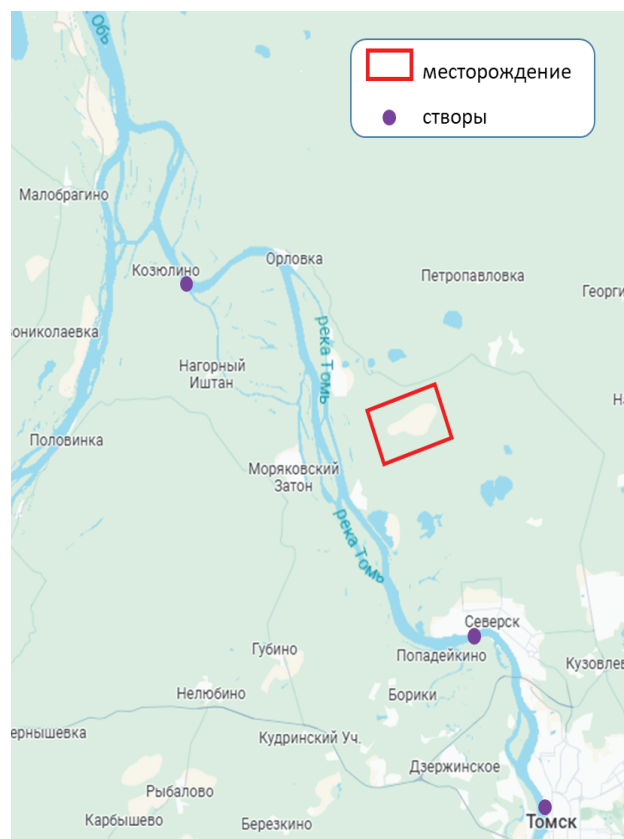


Рис. 1. Карта-схема реки Томь от г. Томска до г/п Козюлино
Fig. 1. Map-scheme of the Tom River from Tomsk to Kozyulino

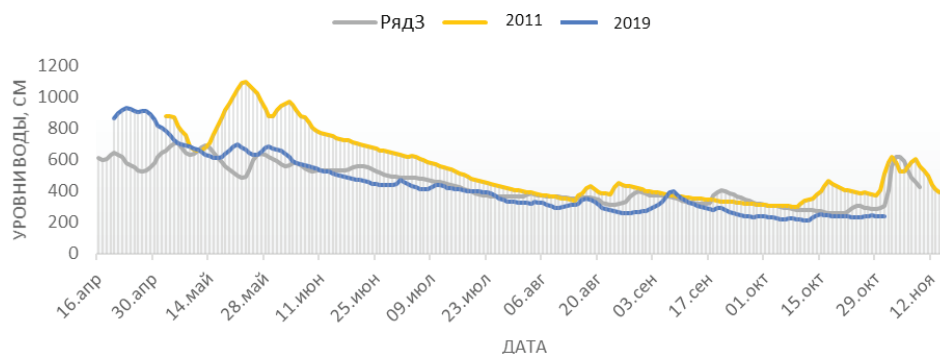


Рис. 2. График колебаний уровня воды по гидропосту Козюлино за характерные годы (многоводный 2006 г., маловодный 2011 г. и 2019 г.)

Fig. 2. Graph of water level fluctuations at the Kozyulino hydropost for characteristic years (high-water 2006, low-water 2011 and 2019)

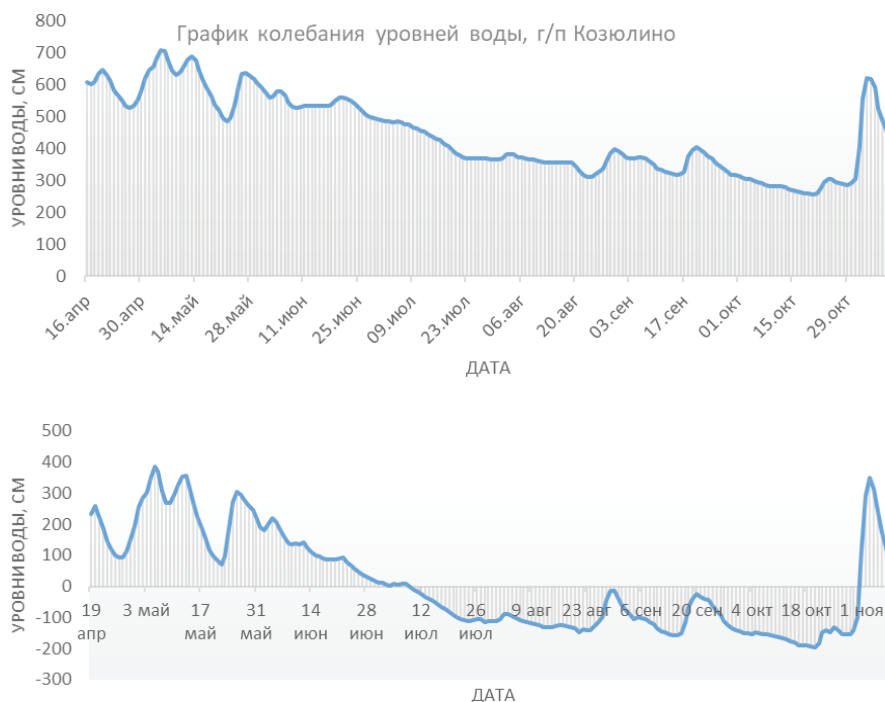


Рис. 3. График колебания уровня воды по гидропостам Козюлино и Томск за 2019 г.

Fig. 3. Graph of water level fluctuations at the Kozyulino and Tomsk hydro post for 2019

глубину. По поперечным профилям для бытового наполнения при расчетном уровне подсчитываем площади живых сечений, ширину поверху В и выполняем расчет. При этом выполняем подсчет по основному руслу и протоке. Вычисляем модули расходов воды [4]:

$$K_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \omega_{cp} \cdot T_{cp}^{\frac{2}{3}}, \quad (1)$$

где n – коэффициент шероховатости расчетного участка; T – гидравлический радиус потока.

По плану участка реки определяется длина расчетных участков Δl рассчитываются модули сопротивлений [4]:

$$\Delta F = \frac{\Delta l}{K_{cp}^2}. \quad (2)$$

Длина участков измеряется по динамической оси потока (или линии наибольших глубин).

После определения суммарных модулей сопротивления по каждому рукаву вычисляется бытовое распределение расходов воды по рукавам:

$$Q_{лб} = \frac{Q_0}{1 + \sqrt{F_{л} / F_{пр}}};$$

$$Q_{прб} = \frac{Q_0}{1 + \sqrt{F_{пр} / F_{л}}}, \quad (3)$$

где Q_0 – общий расход в русле, $м^3/с$.

Имея бытовое распределение расходов воды по рукавам, вычисляем падение уровней

на каждом расчетном участке Δz и бытовые отметки в расчетных сечениях z [5]:

$$\Delta z = Q_6^2 \cdot \Delta F;$$

$$z_{i+1} = z_i + \Delta z. \quad (4)$$

В расчетах применялись значения расходов:

$$Q = 313 \text{ м}^3/с;$$

$$Q = 2900 \text{ м}^3/с;$$

$$Q = 7150 \text{ м}^3/с.$$

Построение модели течения в бытовом состоянии. Совокупность плановых линий тока и криволинейных поперечников называется планом течения. Часть потока, заключенная между двумя смежными линиями тока, называется плановой струей, а полоса между двумя смежными криволинейными поперечниками – поясом плана течений. Уклон свободной поверхности вдоль произвольной плановой линии тока можно выразить с помощью формул Шези и Маннинга. Стремясь сделать выбор линий тока определенным, вводят условие, чтобы между любой парой смежных линий тока проходил один и тот же расход воды. Это значит, что речной поток делится на целое число N равно расходных плановых струй.

Таким образом, метод плоских сечений показывает, что распределение расхода по ширине русла зависит от глубин. Определяются границы равно расходных струй на поперечных профилях, выполняется графическое интегрирование,

и на том же чертеже строится интегральная кривая. После выполнения расчетов для всех сечений границы струй переносят на план участка русла и соединяют плавными линиями. По каждому из выполненных сечений строятся 2 комплекта поперечных сечений, интегральных кривых расходов воды, планов течения, как указывалось выше: поперечные профили в бытовом состоянии; в проектном состоянии (при трех уровнях), причем каждое из состояний – при трех разных уровнях воды ($H = -163$ см; $H = 260$ см; $H = 723$ см).

Расход воды в сечении выражаем равенством [4]:

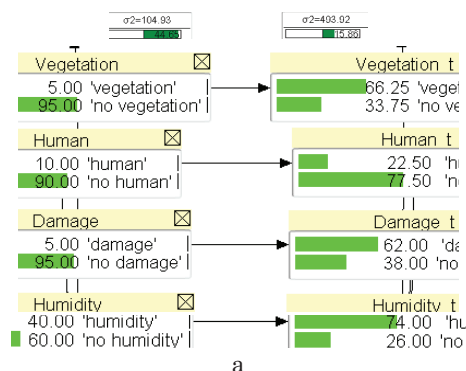
$$Q_p = \frac{\sqrt{J}}{n} \int_0^B T_{cp}^{\frac{5}{3}} \cdot d \cdot B, \quad (5)$$

где J – продольный уклон свободной поверхности воды; n – коэффициент шероховатости; T_{cp} – средняя глубина реки между расчетными вертикалями, м; B – ширина реки, м.

Обозначив $\frac{\sqrt{J}}{n} = \varepsilon$, интегрирование заменив суммированием по участкам элементарной величины ΔB , получим:

$$Q_p = \varepsilon \cdot \int_0^B T_{cp}^{\frac{5}{3}} \cdot \Delta B. \quad (6)$$

Результаты и их обсуждение. На участке исследуемого месторождения наблюдается наличие небольшой протоки, пересыхающей в межень. Однако при расчетах при высоких уровнях воды, проходящих как в пределах пойменных бровок, так и соответствующих среднемноголетнему максимальному расходу воды в половодье, необходимо принять во внимание ее наличие и оценить степень увеличения расхода воды и скоростей течения в ней после разработки карьера (рис. 4). Иными словами, важно учитывать, как изменение разработки карьера влияет на водные потоки.



Для каждого из сечений в бытовом и проектном состояниях были вычислены геометрические параметры и гидрологические характеристики – такие, как модули расхода K_{cp} и модули сопротивления расчетных участков ΔF [6-8]. При этом за расчетный коэффициент шероховатости русла n принято значение 0,02, опробованное ранее при проводившихся работах и подтвердившее свою компетентность. Основные расчеты по оценке понижения уровней воды, оценке безопасности судоходных условий на рассматриваемом участке производятся при принятых расчетных уровнях и расходах воды в реке [9, 10]. Рассматриваемый участок 47...53,5 км реки Томь расположен между двумя гидропостами: Томск и Козюлино. Падение уровня между расчетными сечениями приведено на рисунке 5.

Суммарные падения уровня воды на расчетных участках $\Sigma \Delta z_i$ были рассчитаны и сведены в таблицу 1.

Посадка уровня воды на участке при проектном уровне в зависимости от глубины разработки составляет 0,3562 см при $T = 4$ м и 0,5306 см при $T = 6$ м.

Посадка уровня воды при расчетном уровне, соответствующем русловым бровкам, в зависимости от глубины разработки ($T = 4$ м, $T = 6$ м) составляет 0,9248 и 1,7534 см соответственно.

Посадка уровня воды при расчетном уровне, соответствующем расходу воды в половодье, в зависимости от глубины разработки ($T = 4$ м, $T = 6$ м) составляет 0,9071 и 1,8575 см соответственно.

Моделирование течения в бытовом и проектном состояниях. Модель течений представляет собой плановую картину поля скоростей потока, составленную векторами средних скоростей на вертикали [5].

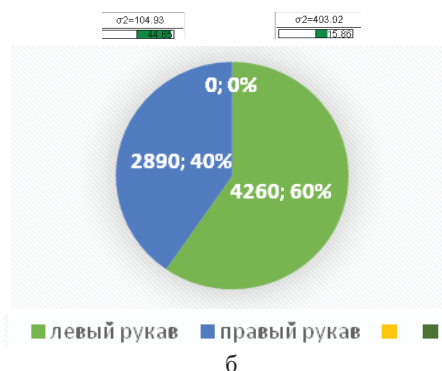


Рис. 4. Распределение расхода воды при одном из характерных ее уровней:

а) в бытовом состоянии (до разработки карьера);

б) в проектном состоянии (с учетом разработки карьера)

Fig. 4. Distribution of water discharge at one of the characteristic water levels:

a) in a domestic state (before the development of the quarry);

b) design condition (taking into account the development of the quarry)

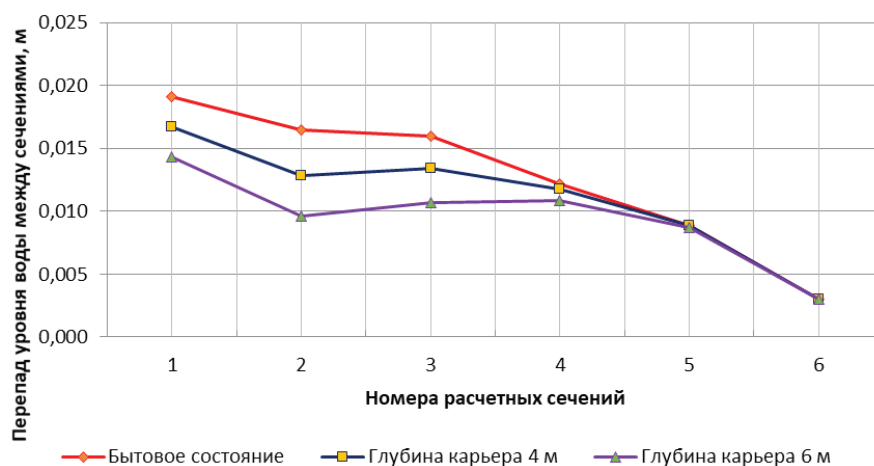


Рис. 5. Определение падения отметок свободной поверхности при уровне воды $H = 723$ см, соответствующем расходу воды $Q = 7150$ м³/с

Fig. 5. Determination of the drop of the elevations of the free surface at the water level $H = 723$ cm, corresponding to the water discharge $Q = 7150$ м³/s

Таблица 1. Таблица расчетов посадки меженного уровня воды

Table 1. Table of calculations for planting low-water level

	Бытовое состояние / Domestic condition		
	$Q = 313$ м³/с	$Q = 2900$ м³/с	$Q = 7150$ м³/с
Суммарное падение уровня воды $\Sigma\Delta z$, м Total water level drop $\Sigma\Delta z$, m	0,007714	0,048476	0,075595
	Разработка карьера на $T = 4$ м / Quarry development at $T = 4$ m		
	$Q = 313$ м³/с	$Q = 2900$ м³/с	$Q = 7150$ м³/с
Суммарное падение уровня воды $\Sigma\Delta z$, м Total water level drop $\Sigma\Delta z$, m	0,004152	0,039228	0,066524
	Разработка карьера на $T = 6$ м / Quarry development at $T = 6$ m		
	$Q = 313$ м³/с	$Q = 2900$ м³/с	$Q = 7150$ м³/с
Суммарное падение уровня воды $\Sigma\Delta z$, м Total water level drop $\Sigma\Delta z$, m	0,002408	0,030942	0,057020

Метод плоских сечений показывает, что распределение расхода по ширине русла зависит от глубин. Определяются границы равно расходных струй на поперечных профилях, выполняется графическое интегрирование и на том же чертеже строится интегральная кривая. После выполнения расчетов для всех сечений границы струй переносят на план участка русла и соединяют плавными линиями.

По каждому из выполненных сечений строится три комплекта поперечных сечений в бытовом и проектных состояниях, интегральных кривых расходов воды, моделей течения.

После построения моделей течения рассчитываются скорости течения, неразмывающие и размывающие скорости в расчетных сечениях по струям. Затем строятся графики изменения скоростей потока, размывающей скорости и неразмывающей скорости вдоль потока. Для бытового состояния графики представлены на рисунке 6а, для

проектного – на рисунке 6б (на графиках представлены скорости для 6 струй).

Анализируя полученные данные, можно прогнозировать изменение скоростей после разработки карьера по сравнению с бытовым состоянием. Сравнение показало значительное снижение скоростей течения в струях после разработки карьера при небольшом увеличении неразмывающих и размывающих скоростей. В бытовом состоянии наибольшие скорости по расчету наблюдаются в начале участка, которые достигают значений более 0,65...1,15 м/с. Вниз по течению скорости уменьшаются до 0,4...0,6 м/с. Максимальные расчетные величины скоростей течения наблюдаются в середине потока, во 2, 3 и 4 струях (рис. 7).

После разработки карьера скорости снижаются до 0,2...0,4 м/с, то есть в соответствии с расчетом скорости уменьшаются в верхней части примерно на 60...67%, в нижней части снижение достигает 60%.

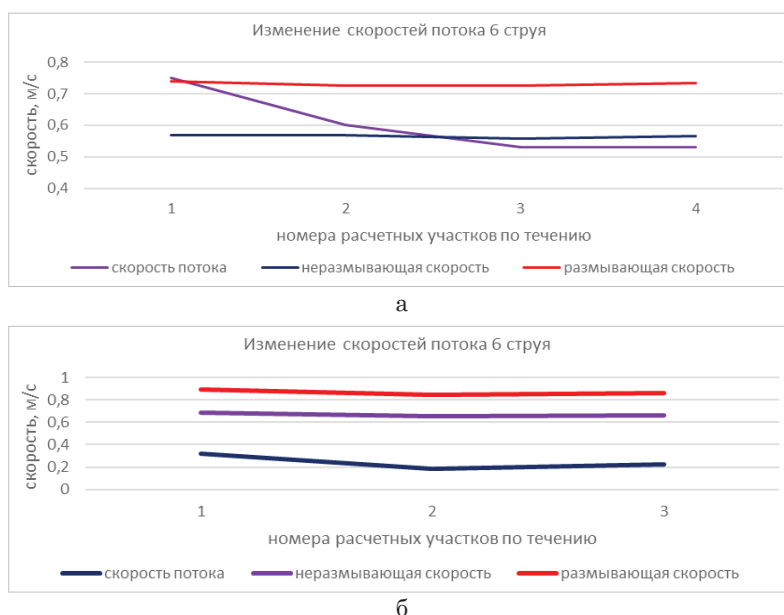


Рис. 6. Динамика изменения скоростей потока на рассматриваемом участке 47-53,5 км р. Томь:
а) в бытовом состоянии; б) в проектном состоянии

Fig. 6. Dynamics of changes in flow rates at the considered site 47-53.5 km river Tom:
а) in the domestic condition; б) in the design condition



Рис. 7. Динамика изменения скоростей потока до разработки карьера и после нее
Fig. 7. Dynamics of changes in flow rates before and after quarry development

Выводы

Проведенные исследования, выполненные гидрологические расчеты и анализ многолетних наблюдений в районе проектируемого месторождения песчано-гравийных материалов позволили обосновать характерные уровни воды, при которых рекомендуется оценить влияние разработки карьера. Соответствующими значениями расходов воды являются:

- проектный уровень по г/п Томск $H = -163$ см, $Q = 313$ м³/с;
- уровень пойменных бровок $H = 260$ см, $Q = 2900$ м³/с;

– среднемноголетний максимальный уровень половодья $H = 723$ см, $Q = 7150$ м³/с.

Максимальной посадка уровня воды оказалась при среднемноголетнем максимальном уровне половодья и глубине разработки 6 м, составив $\Delta z_k = 0,0186$ м, что в 2,7 раза меньше допустимого $\Delta z_{доп} = 0,05$ м. Следовательно, влияние карьера на уровни воды на участке является незначительным. Неразмывающие скорости в бытовом состоянии находятся в пределах 0,55...0,65 м/с, после разработки карьера составляя 0,63...0,75 м/с. При этом размывающие скорости увеличились с 0,7...0,85 до 0,82...0,98 м/с соответственно.

Список использованных источников

1. Владимирова О.Н. Взаимосвязи между речными и подземными водами в нижнем течении реки Томь (Томская область, Российская федерация) / О.Н. Владимирова, О.Г. Савичев // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 4. С. 41-52. <https://doi.org/10.31857/S0869780921040111>
2. Гладкова А.С. Геоэкологическая характеристика поймы реки Томи и надпойменной террасы для целей строительства / А.С. Гладкова, Н.Н. Минаев

References

1. Vladimirova O.N. Interconnections between river and groundwater in the lower reaches of the Tom River (Tomsk Region, Russian Federation) / O.N. Vladimirova, O.G. Savichev // Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology, 2021. 4, P. 41-52. <https://doi.org/10.31857/S0869780921040111>
2. Gladkova A.S. Geoecological characteristics of the floodplain and terrace of the Tom River for construction purposes / A.S. Gladkova, N.N. Minaev //

// Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 3. С. 158-172. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-158-172>

3. Чалов Р.С. Пойменно-русловые разветвления: условия формирования и гидролого-морфологическая характеристика // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2023. № 2. С. 10-21. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.2.2>

4. Стандарт СТО 52.08.31-2012 «Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учёт руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров». Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293755/4293755870.pdf>

5. СП-33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. М.: Госстрой России 2004. 74 с. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200035578>.

6. Наумова А.А. Классификация и обзор конструктивных схем расходомеров с сужающими устройствами для открытых водотоков / А.А. Наумова Т.В. Пилипенко, К.Р. Пономарчук // Природообустройство. 2024. № 5. С. 88-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

7. Наumenko Н.О. Оценка фактического объема воды в водоеме посредством надводного беспилотного аппарата / Н.О. Наumenko, М.А. Ширяева, Н.В. Ханов // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 2. С. 275-286. <https://doi.org/10.2712-9357>

8. Чалов Р.С. Управление русловыми процессами, техногенные воздействия на русла рек и проблемы гидроэкологической безопасности // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2022. Т. 32. № 2. С. 184-191. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2022-32-2-184-191>

9. Беркович К.М. Вертикальные деформации русел рек России под влиянием русловых карьеров / К.М. Беркович Л.В. Злотина, Л.А. Турыкин // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55. № 1. С. 5-12. <https://doi.org/10.31857/S2949178924010016>

10. Tan C., Plink-Björklund P. Morphodynamics of supercritical flow in a linked river and delta system, Daihai Lake, Northern China // Sedimentology. 2021. <https://doi.org/10.1111/sed.12839>

Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Building, 2022. V. 24, No. 3, P. 158-172. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-158-172>

3. Chalov R.S. (2023). Floodplain-channel branchings: formation conditions and hydrological-morphological characteristics. Moscow University Bulletin. Series 5. Geography, 2, 10-21. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.2.2>

4. Standard STO 52.08.31-2012 "Extraction of non-metallic construction materials in water bodies. Accounting for the channel process and recommendations for the design and operation of channel quarries." Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293755/4293755870.pdf>

5. SP-33-101-2003. Determining the main calculated hydrological characteristics. Official publication. Moscow: Gosstroy of Russia, 2004. 74 p. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200035578>.

6. Naumova A.A. (2024). Classification and review of design schemes of flowmeters with constricting devices for open channels / A.A. Naumova, T.V. Pilipenko, K.R. Ponomarchuk // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 5, P. 88-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

7. Naumenko N.O. Assessment of the actual volume of water in a water body using an overwater unmanned aerial vehicle / N.O. Naumenko, M.A. Shiryayeva, N.V. Khanov. Land reclamation and hydraulic engineering. 2024. V. 14, No. 2. P. 275-286. <https://doi.org/10.2712-9357>

8. Chalov R.S. (2022). Channel process management, technogenic impacts on river channels, and problems of hydroecological safety. Bulletin of the Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences". 2022. V. 32. No. 2. P. 184-191. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2022-32-2-184-191>

9. Berkovich K.M. Vertical deformations of riverbeds in Russia under the influence of channel quarries / K.M. Berkovich, L.V. Zlotina, L.A. Turykin. Geomorphology and paleogeography. 2024. V. 55. No. 1. P. 5-12. <https://doi.org/10.31857/S2949178924010016>

10. Tan C., Plink-Björklund P. (2021). Morphodynamics of supercritical flow in a linked river and delta system, Daihai Lake, Northern China. Sedimentology. <https://doi.org/10.1111/sed.12839>

Об авторах

Татьяна Викторовна Пилипенко, канд. техн. наук, доцент кафедры ГТСБЭ; SPIN-код: 1801-6810; AuthorID: 408544, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6588>; t.v.pilipenko@nsawt.ru

Нина Петровна Карпенко, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник; <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; npkarpenko@yandex.ru

Даниил Евгеньевич Куприянов, главный инженер ОАО Запсибпродовхоз, daniilcupriyanov@mail.ru

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

Information about the Authors

Tatiana V. Pilipenko, CSc (Eng), Associate Professor of the Department of GTSBE; SPIN code: 1801-6810; AuthorID: 408544, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6588>; t.v.pilipenko@nsawt.ru

Nina P. Karpenko, DSC (Eng), Leading Researcher; <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; npkarpenko@yandex.ru

Daniil E. Kupriyanov, Chief Engineer of JSC Zapsibgiprovdokhoz, daniilcupriyanov@mail.ru

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

Критерии авторства / Authorship criteria

Пилипенко Т.В., Карпенко Н.П., Куприянов Д.Е., Ширяева М.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Пилипенко Т.В., Карпенко Н.П., Куприянов Д.Е., Ширяева М.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 06.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 23.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 23.02.2025

Pilipenko T.V., Karpenko N.P., Kupriyanov D.E., Shiryayeva M.A. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. Pilipenko T.V., Karpenko N.P., Kupriyanov D.E., Shiryayeva M.A. have a copyright to the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-105-111>
УДК 627.157.002: 626/627



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Б.И. Корженевский, Н.В. Коломийцев[✉], Г.Ю. Толкачев

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»); 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. *Цель исследований:* оценка физической сущности процессов и действий, необходимых для безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений и комфортного использования селитебных территорий; уточнение с энергетических позиций ряда характеристик рассматриваемых процессов. В последние века, и особенно в последние десятилетия, в связи с повышающейся антропогенной активностью возникло множество природно-техногенных структур. На фоне всегда существующих природных склоновых процессов техногенное воздействие наложило дополнительные характеристики на их закономерности. Обычно на начальных стадиях антропогенное воздействие приводит к активизации нежелательных склоновых процессов, и реже – к их затуханию при инженерной подготовке территории на первых этапах освоения. Рассмотрены энергетические характеристики эволюции этих процессов: в меньшей степени – в естественных условиях, в большей степени – в пределах современных природно-техногенных структур, значительное количество которых является гидротехническими сооружениями. Городские и поселковые агломерации, автомобильные, железнодорожные и прочие коммуникации, сельскохозяйственные комплексы и другие объекты жизнедеятельности предусматривают изменение энергетических характеристик склонов в пределах вновь возникающих и дополняемых в процессе эволюции природно-техногенных структур. Представлены характеристики перемещения аллювиальных отложений в пределах техногенной измененных русел малых рек. Рассмотрен путь движения одной, наиболее нежелательной частицы-загрязнителя в геоэкологической системе – агрегата с депонированными в нем тяжелыми металлами, попавшими в грунтовую толщу вследствие жизнедеятельности человека. На схеме представлено движение загрязнителя от момента гипотетического поступления в геологическую среду в результате жизнедеятельности человека до депонирования в тонкой фракции донных отложений водных объектов, потенциальным барьером для которой обычно являются донные отложения в приплотинной зоне.

Ключевые слова: склоны, энергетические характеристики процесса, загрязнение, тяжелые металлы, энергетические ловушки, потенциальные барьеры

Формат цитирования: Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю. Энергетические характеристики для оценки геоэкологической безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2025. № 2. С. 105-111. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-105-111>

Scientific article

ENERGY CHARACTERISTICS FOR ASSESSING GEOECOLOGICAL SAFETY DURING OPERATION OF HYDRAULIC STRUCTURES

B.I. Korzhenevskiy, N.V. Kolomiytsev[✉], G.Yu. Tolkachev

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov (Federal State Budgetary Scientific Institution FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov), 44 Bolshaya Akademicheskaya str., Building 2, Moscow, 127434 Russia

Abstract. Research objective: assessment of the physical essence of processes and actions necessary for trouble-free operation of hydraulic structures and comfortable use of residential areas; clarification of a number of characteristics of the processes under consideration from the energy point of view. In recent centuries, and especially decades, due to the increasing anthropogenic activity, many natural and man-made structures have emerged. Against the background of always existing natural slope processes, man-made impact has imposed additional characteristics on their patterns. Usually, in the initial stages, anthropogenic impact leads to the activation of undesirable slope processes, and less often to their attenuation during the engineering preparation of the territory at the first stages of development. The energy characteristics

of the evolution of these processes are considered, to a lesser extent in natural conditions, to a greater extent within the limits of modern natural and man-made structures, a significant number of which are hydraulic structures. Urban agglomerations, automobile, railway and other communications, agricultural complexes and other vital objects provide for a change in the energy characteristics of slopes within the newly emerging and supplemented natural and man-made structures in the process of evolution. The characteristics of the movement of alluvial deposits within the limits of the technogenically altered beds of small rivers are presented. The path of movement of one of the most undesirable pollutant particles in the geoecological system is considered – an aggregate with heavy metals deposited in it, trapped in the ground due to human activity. The figures shows the movement of the pollutant from the moment of hypothetical entry into the geological environment as a result of human activity to deposition in a thin fraction of sediments of water bodies, a potential barrier to which is usually sediments in the dam zone.

Keywords: slopes, energy characteristics of the process, pollution, heavy metals, energy traps, potential barriers

Format of citation: Korzhenevskiy B.I., Kolomiitsev N.V., Tolkachev G.Yu. Energy characteristics for assessing geoecological safety during operation of hydraulic structures // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 105-111. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-105-111>

Введение. Целью работы является оценка физической сущности процессов и действий, необходимых для безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений и комфортного использования селитебных территорий. Специалисты по склоновым экзогенным процессам нечасто прибегают к изучению физики процессов на прикладном уровне, из редких крупных исследований в этом направлении отметим работы [1-4]. Многочисленные расчеты физических характеристик исследуемых гидрогеологических и экзогенных процессов и явлений на «фундаментальном уровне» хорошо работают в средах, близких к идеальным. Целью исследований являлось уточнение с энергетических позиций ряда характеристик рассматриваемых процессов. Предложенный ниже энергетический подход – далеко не панацея, но он позволяет на качественном уровне «уложить на разные чаши весов» факторы, предупреждающие развитие рассматриваемых склоновых процессов, и факторы, определяющие их развитие.

Цель исследований: оценка физической сущности процессов и действий, необходимых для безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений и комфортного использования селитебных территорий; уточнение с энергетических позиций ряда характеристик рассматриваемых процессов.

Материалы и методы исследований. Представлены некоторые особенности развития наиболее распространенного склонового процесса – поверхностного смыва. При его развитии в водные объекты попадают тяжелые металлы – продукты эпохи индустриализации. С середины прошлого века бассейны крупных рек Европейской части России трансформировались в природно-техногенные структуры в результате

гидротехнического строительства. Они зарегулированы комплексом плотин электростанций, системой шлюзов. На берегах рек значительно возросла техногенная нагрузка от селитебных агломераций, объектов промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Основные этапы экспериментальных работ проводились в бассейне Верхней Волги для определения характеристик загрязнения донных отложений тяжелыми металлами и в пределах города Ялты на двух ручьях: Быстрая (Дерекойка) и Водопадная (Учан-су), которые в нижнем течении являются по сути гидротехническими сооружениями в течение более века.

В работе [5] отмечается, что в геодинамическом комплексе противодействуют две категории энергии: статическая энергия внутренних прочностных связей в твердых телах и энергия гравитации, стремящаяся разрушить эти связи. Третий вид энергии – активационная энергия тела – энергия, необходимая для вывода частицы или более крупного геологического тела из существующего состояния.

Взаимодействие отдельных частиц и тел выражается в форме трения. В целом же внешнюю энергию геодинамического комплекса можно считать единой термодинамической системой. Внутренняя энергия представляет собой геодинамические поля, действующие между отдельными атомами и молекулами внутри геодинамического комплекса и зависящие от гравитационной энергии земли, подчиняющиеся последней в объеме всего геодинамического комплекса или его элементов.

«Внутренняя электромагнитная энергия компонентов геодинамического комплекса складывается из сил притяжения и отталкивания между атомами и молекулами. Сила притяжения

определяет степень устойчивости пород – сопротивление истиранию и раскалыванию. Силы отталкивания – степень сопротивления упругим и пластическим деформациям. Прочностные структурные связи – энергия, накопленная грунтами за время их седиментации, диагенеза, метаморфизма... Энергия внутренних электромагнитных прочностных связей грунтов противостоит гравитационной энергии масс грунтов, вод, попадающих на поверхность рельефа и проникающих в грунтовую толщу. Энергия внутренних связей равна внешней энергии, необходимой для того, чтобы эти связи разрушить. Это положение является основой энергетического баланса геодинамического комплекса» [6].

Нами внутренняя энергия оценивается как энергия связей грунтовой толщи (геодинамического комплекса), под которой понимается комплексный показатель прочности, вязкости, липкости, сопротивления трению и др., далее $-E_{\text{св}}$ [7-9]. В общем виде наибольшей $E_{\text{св}}$ обладают грунты с ионным типом связей (скальные), наименьшей $E_{\text{св}}$ – грунты с молекулярным типом связей (дисперсные). Величина $E_{\text{св}}$ определяется условиями осадконакопления, диагенеза и катагенеза и их эпигенетическими трансформациями. Переход из области влияния внутренних энергий устойчивости в область внешней энергии гравитации происходит путем преодоления различных энергетических барьеров [6].

Применяемый специалистами термин «энергия рельефа» [10, 11] означает по сути «мощность рельефа», что более соответствует физической сущности, так как является отражением работы, затраченной за определенное (геологическое) время для создания современного облика геологического тела [7]. В зависимости от среды, в которой формировалась грунтовая толща, от минерального состава отложений, от условий диагенеза затрачивается определенная физическая работа на формирование различных видов связей в грунтовой толще. Соответственно затрачивается работа и на последующую «жизнь» этой толщи. Также работа затрачивается и на разрушение уже сформировавшихся связей при выветривании. В общем виде мощность рельефа можно представить соотношением [8]:

$$E_e = A_{\text{св}}/t_{\text{св}} + A_o/t_o - A_b/t_b,$$

где E_e – полная мощность рельефа; $A_{\text{св}}$ – работа, затраченная на установление связей; A_o – работа, затраченная на воздымание объекта на его современную высоту; A_b – работа, затраченная на выветривание; $t_{\text{св}}$, t_o и t_b – время, за которое совершалась работа по установлению структурных связей, подъему геологического тела на современную высоту и выветривание геологического тела соответственно.

Из формулы следует, что чем выше $A_{\text{св}}$, A_o и t_b и, соответственно, чем ниже A_b , $t_{\text{св}}$ и t_o , тем выше мощность рельефа. Это в упрощенном виде можно представить так: чем меньше прошло времени от начала формирования осадка и чем выше склоны, тем выше мощность рельефа, и наоборот.

С изложенных позиций достаточно просто объяснить ограниченные размеры геологических тел и мощность процессов, в которых участвуют эти тела энергетической ограниченностью. При увеличении размеров геологического тела вес возрастает быстрее, чем прочность: первое – пропорционально кубу, второе – квадрату, то есть чем меньше размер геологического тела, тем выше его относительная прочность [8]. Для начала перемещения геологического тела вниз по склону необходимо некоторое количество $E_{\text{ак}}$. В целом мгновенное состояние геологического тела (агрегата, частицы) можно определить по соотношению $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{св}}$:

– устойчивое состояние геологического тела, агрегата или частицы при $E_{\text{гр}}$ меньше $E_{\text{св}}$;

– смещение геологического тела, агрегата или частицы вниз по склону до энергетической ловушки или потенциального барьера при $E_{\text{гр}}$, большей, чем $E_{\text{св}}$;

– унаследование массивом предшествующего состояния при равенстве $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{св}}$ [8].

Природные факторы, как и техногенные, могут оказывать двоякое влияние на изменение $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{св}}$ грунтовой толщи: повышать или понижать их в различных соотношениях. Повышение $E_{\text{гр}}$ может осуществляться за счет: а) повышения веса геологического тела; б) за счет внешних, направление которых совпадает с направлением вектора наиболее энергетически выгодного перемещения геологического тела, частицы или агрегата. Увеличение веса чаще всего происходит при попадании дополнительного объема жидкости в геологическое тело, а в последние десятилетия – и при техногенном воздействии. Наряду с механическим повышением веса тела возможно его расчленение на меньшие по размеру объекты вследствие растрескивания грунтовой толщи. Положение центра масс возникших агрегатов в этих случаях относительно потенциального барьера у некоторых повышается, у других понижается, то есть более мелкие объекты будут обладать индивидуальными характеристиками при движении вниз по склону в отличие от ранее существовавшего агрегата.

Наряду с отмеченными выше природными и техногенными факторами определенную роль в энергетических характеристиках склонов играют внутригодовые и многолетние

колебания напряженного состояния грунтовой толщи. Первые обусловлены ротационным режимом земли [9, 12], и в упрощенном варианте осенью отмечается незначительное увеличение полостного пространства, что в совокупности с сезонными дождевыми осадками вызывает повышение $E_{гр}$ агрегатов и понижение $E_{св}$ вследствие размокания на склоне осенью. Вследствие зимнего промерзания влажных грунтов их объем увеличивается, и разрушаются некоторые внутриагрегатные связи, что при протаивании толщи весной и, соответственно при понижении $E_{св}$, способствует более активному размоканию и размыванию грунтовой толщи. Если осенью, в период увеличения полостного пространства, осадков выпало мало, вышеперечисленные процессы, способствующие разрушению грунтов, существенно менее активны. При сезонном сжатии грунтового массива происходят процессы обратной, описанной выше направленности. Многолетние изменения напряженного состояния определяют в отличие от внутригодовых циклов общую тенденцию движения грунтовых агрегатов и частиц на склонах.

Ручьи Быстрая и Водопадная летом 2021 г. в результате наиболее интенсивных ливней за период гидрометеорологических наблюдений явились участниками природно-техногенной аномалии, подробно рассмотренной в работе [13]. За последующие годы на этих водотоках произошла существенная техногенная эволюция русловых частей, связанная с уборкой аллювиальных отложений, которая имела как положительные, так и резко отрицательные последствия. Так, на р. Быстрая в пределах 1,5 км от устья были убраны аллювиальные отложения из энергетических ловушек – техногенных порогов, расположенных ортогонально искусственным бортам водотоков, суть которых – концентрация аллювиальных отложений в паводковые периоды. В настоящее время эти энергетические ловушки выполняют свои функции, постепенно заполняясь влекомыми наносами, не допуская их поступления в акваторию порта. Отметим, что вследствие паводка 2021 г все эти сооружения оказались переполненными, а конус выноса в пределах портовых сооружений достиг максимальных объемов за период наблюдений и возвышался над морской поверхностью в портовой зоне на 1,0-1,5 м. Впоследствии он был убран спецтехникой. В настоящее время энергетические ловушки в гидротехнически обустроенной части реки постепенно заполняются аллювиальными отложениями, препятствуя их поступлению на территорию портовых сооружений.

Более неоднозначной является ситуация в русле р. Водопадная. На значительной протяженности техногенной части русла, борта которого камнетесы создали более века назад и которые успешно выдерживали все ранее случавшиеся паводки, русловые отложения были убраны без ущерба для техногенных бортов, но не везде. Русловая часть во второй половине XX в. была забетонирована.

На рисунке 1 приведены этапы эволюции одного из участков русла по состоянию от начала 2021 г. до 2025 г. В течение устранения последствий паводка, в результате безграмотного отбора аллювиальных отложений, был уничтожен потенциальный барьер для техногенных бортов водотока – аллювиальные отложения, на которых и были установлены эти борта. Оказавшись в «подвешенном» состоянии, они в результате паводков и дождей достигли ситуации превышения $E_{гр}$ над $E_{св}$ и обрушились. Следует отметить, что борта водотока, построенные более века назад, продержались несколько дольше, чем рядом расположенный участок, восстановленный после разрушения в 2021 г.

Загрязнение дневной поверхности склонов и донных отложений водных объектов тяжелыми металлами является нежелательной геоэкологической ситуацией. В регионах без месторождений таких металлов основным источником их появления является антропогенная деятельность. При поверхностном стоке энергетически наиболее выгодная ситуация связана с размоканием и размыванием (понижением $E_{св}$), намоканием (повышением $E_{гр}$). Активационной энергией ($E_{ак}$) в этом случае является водный поток, который может быть вызван как весенним снеготаянием, так и дождями [10]. Поток является и транспортирующим фактором, причем энергетически наиболее выгодно транспортировать мелкие частицы и агрегаты, которые являются или впоследствии становятся сорбентами для тяжелых металлов [14].

При движении вниз по склону, а затем по русловой части водного объекта частица (агрегат, геологическое тело) преодолевает в течение продолжительного времени ряд энергетических ловушек. Ускорение или замедление этого процесса определяет привнос $E_{ак}$, который определяется как внутрисезонными, так и многолетними изменениями природных и техногенных воздействий. Конечный пункт перемещения частицы – потенциальный барьер, который чаще всего представлен дамбами и плотинами [8] и преодолеть который загрязненный элемент донных отложений может лишь при аномальном поступлении

$E_{ак}$. Последняя может быть вызвана как целенаправленной деятельностью человека (например, уборка иловатых отложений водного объекта из зоны преобладающего осадконакопления), так и событиями на уровне чрезвычайных ситуаций, связанных с прораном и последующим разрушением его дамбы в результате природно-техногенных воздействий.

Необходимо подчеркнуть, что тяжелые металлы, адсорбированные на тонкодисперсных

частицах в донных отложениях, могут участвовать в процессах массопереноса в системе «Твердая фаза – поровый раствор – вода – твердая фаза» [15, 16]. Это зависит от изменения $E_{ак}$: меняющегося соотношения приходной и расходной составляющих баланса веществ, гидродинамической обстановки в придонном слое, физико-химических условий в верхнем слое донных отложений [17, 18]. Блок-схема движения частицы-загрязнителя представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Эволюция русла реки Водопадная:

а – полгода до паводка, аллювиальные отложения накапливались десятки лет;
б – разрушения восстановленного после паводка борта; в – разрушения восстановленного и ранее существовавшего борта (общая протяженность – более 100 м)

Fig. 1. Evolution of the Vodopadnaya riverbed:

a – six months before the flood, alluvial deposits accumulated for decades;
b – destruction of the side restored after the flood;
c – destruction of the restored and pre-existing side (total length of more than 100 m)

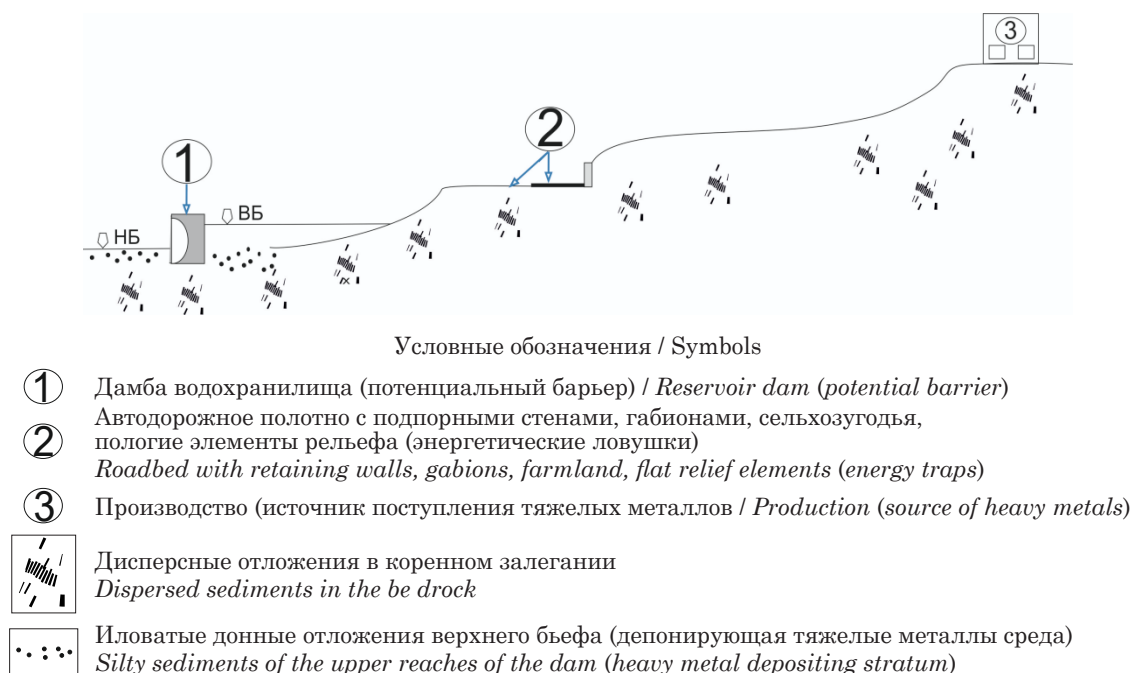


Рис. 2. Блок-схема движения загрязнителя от места поступления на склон до потенциального барьера

Fig. 2. Block diagram of the movement of the pollutant from the point of entry on the slope to the potential barrier

Движение загрязняющей частицы следующее. Источником поступления загрязнения (п. 3 на рис. 2) могут быть производство, сельскохозяйственные угодья, магистральные путепроводы, селитебные зоны и др. Под воздействием $E_{ак}$ загрязнитель движется вниз, попадая в энергетические ловушки (п. 2 на рис. 2), которыми могут быть депрессии в рельефе склона и различные сооружения. При поступлении дополнительной $E_{ак}$ загрязнитель из энергетической ловушки перемещается и попадает в потенциальный барьер, которым обычно бывает плотина гидротехнического сооружения (п. 1 на рис. 2). Загрязнитель может депонироваться в пределах потенциального барьера неограниченно долго.

Выводы

1. При гидротехническом строительстве, предусматривающем комфортное проживание в пределах селитебных зон, реки нередко оформляются в техногенные структуры, направленные на предотвращение чрезвычайных ситуаций. При корректном выполнении такие структуры хорошо справляются с выполнением своих функций практически всегда, предохраняя селитебные и промышленные городские участки от подтопления, берега рек – от эрозии, а портовые сооружения – от залпового поступления речных

наносов при паводках, концентрируя их в энергетических ловушках. При несвоевременной уборке аллювиальных отложений из русловых частей и некорректном выполнении гидротехнических работ последствия бывают отрицательными. Так, на одном из участков р. Водопадной в г. Ялте разрушение в результате безграмотного выполнения работ техногенных бортов, просуществовавших в течение более века, представляет дальнейшую угрозу активно эксплуатируемой автомобильной дороге и парку с полуторавековой историей.

2. В движении тяжелых металлов-загрязнителей вниз по склону от места поступления до потенциального барьера наиболее активное участие принимает $E_{ак}$ в виде временных водотоков (поверхностного и ручейкового смыва). На некоторое время загрязнители попадают в энергетические ловушки – западины в рельефе, поля, подпорные стены и пр. При более высокой $E_{ак}$ загрязнители достигают потенциальных барьеров, которыми на суше чаще всего являются дамбы, плотины водных объектов. Тяжелые металлы в донных отложениях в пределах потенциальных барьеров при определенных энергетических условиях участвуют в процессах массопереноса в системе «Твердая фаза – поровый раствор – вода – твердая фаза».

Список использованных источников

1. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
2. Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных геологических процессов. М.: Наука, 1989. 232 с. ISBN 5-02-003271-9
3. Селюков Е.И. Краткие очерки практической микрогеодинамики / Е.И. Селюков, Л.Т. Стигнеева. СПб.: Питер, 2010. 176 с.
4. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф / Пер. с англ. А.А. Варги. М.: Недра, 1981. 232 с.
5. Уилкинсон Д., Пайерлс Р. Льюэллин-Смит К. и др.; под ред. Дж. Малви; пер. с англ. В.П. Павлова, Ю.Г. Рудого; под ред. М.: Мир, 1984. 312 с.
6. Полунин Г.В. Экзогенные геодинамические процессы гумидной зоны умеренного климата (физические аспекты экзогенных процессов). М.: Наука, 1983. 347 с.
7. Корженевский Б.И. Зональность энергетического потенциала – основа для прогноза гравитационных процессов в горном регионе / Сб. научных трудов: Методы регионального инженерно-геологического прогнозирования. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1989. С. 136-146.
8. Корженевский Б.И. Миграция тяжёлых металлов в речных бассейнах и определяющие её факторы // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 3(155). С. 87-91.
9. Селюков Е.И. Глубинная энергетическая зональность склонов и развитие гравитационных процессов (на примере Южного берега Крыма) / Е.И. Селюков,

References

1. Bondarik G.K. General theory of engineering (physical) geology. Moscow: Nedra, 1981. 256 p.
2. Polunin G.V. Dynamics and forecast of exogenous geological processes. Moscow: Nauka, 1989. 232 p.
3. Selyukov E.I., Stigneeva L.T. Brief essays on practical microgeodynamics. St. Petersburg: Piter, 2010. 176 p.
4. Scheidegger A.E. Physical aspects of natural disasters. Moscow: Nedra, 1981. 232 p.
5. Wilkison D., Peierls R., Lullin-Smith K., Perkins D., Salam A., Ellis J., Adams J., Gellman M. The fundamental structure of matter. Moscow: Mir Publishing House, 1984. 312 p.
6. Polunin G.V. Exogenous geodynamic processes of the humid zone of temperate climate (physical aspects of exogenous processes). Moscow: Nauka, 1983. 347 p.
7. Korzhenevskiy B.I. Zonality of energy potential – the basis for forecasting gravitational processes in a mountainous region / Methods of regional engineering and geological forecasting. Moscow: VSEGIN GEO Publishing House, 1989. P. 136-146.
8. Korzhenevskiy B.I. Migration of heavy metals in river basins and its determining factors // Use and protection of natural resources in Russia. 2018. No. 3(155). P. 87-91.
9. Selyukov E.I., Korzhenevskiy B.I. Deep energy zonality of slopes and the development of gravitational processes (on the example of the Southern coast of Crimea) // Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. Department of Geology. 1990. Vol. 65. No. 5. P. 102-107.

Б.И. Корженевский // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 1990. Т. 65. № 5. С. 102-107.

10. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна: монография / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 224 с.

11. Опасные экзогенные процессы / Под ред. В.И. Осипова. М.: Изд-во ГЕОС, 1999. 289 с.

12. Гарбар Д.И. Две концепции ротационного происхождения регматической сети // Геотектоника. 1987. № 1. С. 107-108.

13. Корженевский Б.И. Паводок в Ялте летом 2021 года и последующая эволюция природно-техногенной части речных русел // Экологические системы и приборы. 2023. № 1. С. 36-42.

14. Экологические функции литосферы. Монография. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.

15. Косов В.И. Исследование распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Селигер / В.И. Косов, И.В. Косова, В.В. Левинский, Г.Н. Иванов, А.И. Хильченко // Водные ресурсы. 2004. Том 31. № 1. С. 51-59.

16. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: Уч. пособие для студ. геогр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.

17. Мур Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти; пер. с англ. Д.В. Гричука [и др.]; под ред. Ю.Е. Саета. М.: Мир, 1987. 288 с.

18. Манихин В.И. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем / В.И. Манихин, А.М. Никаноров. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 182 с. ISBN 5-286-01442-9.

10. Modeling of erosion processes in the territory of a small catchment area / Edited by A.S. Kerzhentsev, R. Meissner. Moscow: Nauka, 2006. 224 p.

11. Dangerous exogenous processes / Edited by V.I. Osipov. Moscow: GEOS Publishing House, 1999. 289 p.

12. Garbar D.I. Two concepts of the rotational origin of the regmatic network // Geotectonics. 1987. No. 1. P. 107-108.

13. Korzhenevskiy B.I. Flood in Yalta in the summer of 2021 and the subsequent evolution of the natural and man-made part of river channels // Ecological systems and devices. 2023. No. 1. P. 36-42.

14. Ecological functions of the lithosphere / Edited by V.T. Trofimov. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2000. 432 p.

15. Kosov V.I. Study of heavy metals distribution in the bottom sediments of Lake Seliger / V.I. Kosov, I.V. Kosova, V.V. Levinsky, G.N. Ivanov, A.I. Khilchenko // Water Resources. 2004. Vol. 31. No. 1. C. 51-59.

16. Glazovskaya M.A. Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR: Study guide for students. geography of special universities. Moscow: Higher School, 1988. 328 p.

17. Moore J.V., Ramamoorthy S. Heavy metals in natural waters. Moscow: Mir Publishing House, 1987. 288 p.

18. Manikhin V.I. Dissolved and mobile forms of heavy metals in the sediments of freshwater ecosystems / V.I. Manikhin, A.M. Nikanorov. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 182 p.

Об авторах

Борис Игоревич Корженевский, канд. геол. – мин. наук, старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-7663-9677; Scopus: 57195526993; SPIN-код: 4475-8455, AuthorID: 350982; 542609@list.ru

Николай Владимирович Коломийцев, канд. геол. – мин. наук, заведующий отделом; ORCID: 0000-0001-8169-7644; SPIN-код: 6298-6146, AuthorID: 546333; kolomiytsev@vniigim.ru

Глеб Юрьевич Толкачев, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-6983-7106; SPIN-код: 7258-6870, AuthorID: 70414; k-26@yandex.ru

About the authors

Boris I. Korzhenevskiy, CSc (Geo-Min), senior researcher; ORCID: 0000-0001-7663-9677; Scopus: 57195526993; SPIN-code: 4475-8455, AuthorID: 350982; 542609@list.ru

Nikolay V. Kolomiytsev, CSc (Geo-Min), head of the department; ORCID: 0000-0001-8169-7644; SPIN-code: 6298-6146, AuthorID: 546333; kolomiytsev@vniigim.ru

Gleb Yu. Tolkachev, CSc (Geogr), senior researcher; ORCID: 0000-0001-6983-7106; SPIN-code: 7258-6870, AuthorID: 70414; k-26@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 13.12.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 03.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 03.02.2025

Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.V., Tolkachev G.Yu. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.V., Tolkachev G.Yu. have a copyright to the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-112-118>
УДК 551.311.21: 527.141.1



МАРШРУТНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В МАМИСОНСКОМ УЩЕЛЬЕ

Н.В. Кондратьева, З.М. Кереева✉, А.Р. Акаев, И.Ж. Шидугов

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»; 360001, КБР, г. Нальчик, пр-кт Ленина, 2, Россия

Аннотация. С целью определения участков, подверженных селевым проявлениям, проведено обследование прилегающих территорий рек Козыдон и Земегондон (Республика Северная Осетия-Алания). Выполнена оценка размеров и объемов прежних селевых выносов, дана оценка геологических условий территории, проводилась фотосъемка территории при использовании БПЛА. В ходе работы установлено, что на рассматриваемой территории имеются 14 селеопасных рек. Селевые отложения имеют широкое распространение и прослеживаются на склонах различной экспозиции. Полевые обследования показали, что реки Козыдон и Земегондон являются также селеносными, о чем свидетельствуют селевые отложения в руслах. Часто зарождение селя происходит в русле одного из притоков, а дальнейшее движение продолжается по основному руслу. Выполнялась оценка размеров и объемов прежних селевых выносов.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (Соглашение № 23-17-20001).

Ключевые слова: сели, ледники, рекреация, курортная зона, обвалы, селевой поток

Формат цитирования: Кондратьева Н.В., Кереева З.М., Акаев А.Р., Шидугов И.Ж. Маршрутное обследование селевых проявлений в Мамисонском ущелье // Природообустройство. 2025. № 2. С. 112-118. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-112-118>

Scientific article

ROUTE SURVEY OF MUDFLOW MANIFESTATIONS IN THE MAMISON GORGE

N.V. Kondratyeva, Z.M. Kerefova✉, A.R. Akaev, I.Zh. Shidugov

Federal State Budgetary Institution "High Mountain Geophysical Institute", Nalchik, Lenin Ave., 2, Rossiya

Abstract. In order to determine the areas prone to mudflows, a survey of the adjacent territories of the Kozydon and Zemegondon rivers (Republic of North Ossetia-Alania) was carried out. An assessment of the size and volume of previous mudflows was fulfilled, an assessment of the geological conditions of the territory was given, taking photo of the territory was carried out using UAVs (drones). In the course of the work, it was established that there are 14 mudflow hazardous rivers in the territory under consideration. Debris flows are widespread and can be traced on slopes of various exposures. Field surveys have shown that the Kozydon and Zemegondon rivers are also mud bearing, as evidenced by mudflow deposits in the riverbeds. Often the origin of a mudflow occurs in the channel of one of the tributaries, and further movement continues along the main channel. The size and volume of previous mudflows were assessed. An assessment of the geological conditions of the territory was given, photography of the territory was carried out, using drones (UAVs). In the course of the work, it was established that there are 14 mudflow hazardous rivers in the territory under consideration. Debris flows are widespread and can be traced on slopes of various exposures. Often the origin of a mudflow occurs in the channel of one of the tributaries, and further movement continues along the main channel.

The work was carried out at the expense of a grant from the Russian science foundation (Agreement No 23-17-20001).

Keywords: mudflows, glaciers, recreation, resort area, landslides, mudflow

Format of citation: Kondratyeva N.V., Kerefova Z.M., Akaev A.R., Shidugov I.Zh. Route survey of mudflow manifestations in the Mamison Gorge // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 112-118. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-112-118>

Введение. Мамисонское ущелье в Северной Осетии находится на юге Республики. По территории ущелья проходит государственная граница

с Южной Осетией и Грузией. Раньше через ущелье проходила военно-осетинская дорога, которая связывала Северный Кавказ и Закавказье.

Общая протяженность ущелья составляет 26 км. Сегодня в Мамисоне при активной поддержке руководства республики создается круглогодичный горнолыжный всероссийский туристическо-рекреационный комплекс (ВТРК «Мамисон»). Площадь ВТРК «Мамисон» составляет более 7000 га, высота меняется от 1800 до 3000 м над уровнем моря. Территория является зоной повышенного риска по причине лавинно-селевых процессов.

Наибольшую опасность в горах представляют снежные лавины и селевые потоки. Так, объем лавин может достигать до 1 млн м³. Лавины формируются на склонах с углами наклона от 25 до 60 град. [1, 2]. Когда критическая масса снега превысит возможности шероховатой поверхности удерживать ее, достаточно малейшего фактора, чтобы она двинулась вниз с возрастающей скоростью, сметая все на своем пути. Как показали наши обследования, такие условия характерны для более чем 40% территории ВТРК «Мамисон».

При выпадении за короткое время в горах большого количества осадков начинается интенсивное таяние ледников, добавляя в русла горных рек объем воды и создавая условия для формирования селевых потоков.

Материалы и методы исследований. В сентябре 2023 г. была организована экспедиция для оценки состояния ледников Козидон и Земегондон с использованием БПЛА мультиторторного типа DJI Mavic Air 2. Это позволило создать ортофотоплан исследуемой территории, а также на основе полученных данных были построены цифровые модели рельефа с относительными высотами от точки взлета. А применение

аэрофотосъемки в совокупности с геоинформационным анализом позволило получить развернутую картину и выполнить большую часть необходимых работ. Задействованные ГИС-технологии, включающие в себя компьютерное совмещение разновременных фото- и космических снимков дает возможность определить местоположение и динамику лавинных и селевых очагов и проводить измерительные работы уже на имеющихся ортофотопланах с высокой точностью. В ходе экспедиции были выявлены места предыдущих сходов лавин.

Имея базу данных по селевым очагам и делая прогнозы их развития, можно выстраивать систему предупреждения ЧС, организовывать принятие превентивных мер для снижения негативных последствий. Результаты работы ученых нужны не только спасательным службам, но и строителям, руководству комплекса, его инженерным службам.

Мамисонское ущелье представляет собой широкую горную долину, хорошо обработанную четвертичными ледниками и реками. Основная река, являющаяся истоком реки Ардон, – река Мамихдон (в некоторых источниках – Мамисондон). Она образуется при слиянии рек Земегондон и Бубидон. Затем река принимает много притоков: слева – Саудурдон, Фарсагон, Клиатдон, Тибдон и др.; справа – Халаца, Кайтыкомдон и др. (рис. 1).

В ходе работы было установлено, что на рассматриваемой территории имеются 14 селеопасных рек. Кроме гляциальных процессов, в районе будущего комплекса имеется опасность схода лавин и селей. Вероятны также каменные обвалы, оползни и другие склоновые процессы.

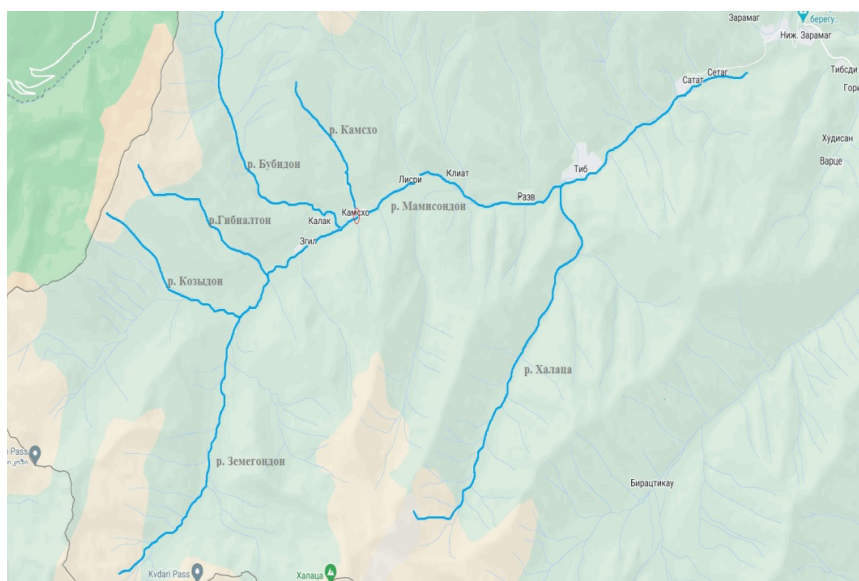


Рис. 1. Водная артерия ущелья Мамисон

Fig. 1. Waterway of the Mamison Gorge

Изучение физико-географических показателей территории ВТРК «Мамисон», влияющих на закономерности географического распространения и условий формирования снежных лавин, селей, динамику жизни ледников, необходимо для районирования территории по степени селе- и лавиноопасности [3].

Долины бассейнов рек Козыдон и Зедегондон относят к потенциально селеопасным территориям [4-6]. Для курортной зоны особую опасность представляют селевые процессы, а именно обвалы с правого склона реки Козыдон. На всем протяжении реки вдоль склонов видны конусы выноса склоновых селей с относительно свежими следами сходов и наблюдаются обвально-оползневые процессы.

Селевые процессы, происходящие в ущелье, могут быть связаны как с оттаиванием рыхлых и скальных пород, так и с сейсмическими явлениями в зонах разлома. Необходимо проводить мониторинг местности, поскольку возможна активизация селей и на других участках [7].

Результаты и их обсуждение. На склонах долины в ее среднем течении имеется множество эрозионных борозд и селевых рытвин, оканчивающихся на мощных лавинно-пролювиальных конусах выноса со свежими следами селевых потоков.

На всем протяжении реки, вдоль склонов, видны конусы выноса склоновых селей с относительно свежими следами сходов. Предположительно эти сели были преимущественно водными, сошедшими за счет большого количества осадков.

Селевые отложения имеют широкое распространение и прослеживаются на склонах различной экспозиции. Они сложены остроугольными и слабоокатанными обломками гипсометрически вышележащих пород. В пониженных участках склонов нивальной зоны локализуются отложения осыпей, рыхлый материал которых, как правило, является крупнообломочным, и содержание в нем глинистой и пылевой фракций значительно меньше. Макроскопически селевые отложения представляют собой щебнисто-суглинистые, щебнисто-супесчаные породы, редко – супесь, суглинок, щебень, щебнистую глину. Петрографически они представлены теми же минералами, что и коренные породы.

Размер крупных обломков обычно не превышает 25-50 см, отдельные обломки достигают 0,5-2,5 м в диаметре. Окатанность обломков – средняя и плохая.

По структурно-реологической модели движения преобладают несвязные селевые потоки, в твердой составляющей которых господствует

грубообломочный материал, а участие пылеватоглинистых фракций является незначительным (<12%). По составу селевой массы потоки являются преимущественно водокаменными.

На территории ВТРК «Мамисон» имеются ледники Козыдон и Зедегондон. Ледник Козыдон расположился в верховьях реки Козыдон, имеет Южный цирк и Северный цирк [8-10]. В Южном цирке имеется моренное озеро, площадь которого составляет 42000 м² (рис. 2). Высота озера над уровнем моря составляет 2778 м, координаты – 42.37 и 43.44. Оно было образовано предположительно в 1975 г. и носит название Козское озеро. Предполагаемая глубина его составляет около 20 м. Вода с озера стекает через морену по протоке длиной 12 м и шириной до 2 м, затем происходит резкий сброс воды вниз по ущелью [11]. Морена, которую пересекает протока, в двух местах имеет термокарстовые просадки глубиной до 2 м, что свидетельствует о наличии ледяных масс внутри морены. При повышении летних температур, обложных ливневых осадках может произойти прорыв озера с образованием мощного селевого потока.

Особенностью динамики Козского озера является неизменность его береговой линии – как минимум в течение 47 лет (1975-2022 гг.). Просмотр космоснимков Sentinel-2, сделанных в разные сезоны года, показал, что и в начале лета, и в конце осени уровень воды в озере не менялся. На этом основании можно предположить, что у озера нет подземных каналов стока.

Полевые обследования показали, что сами реки Козыдон и Зедегондон являются селевыми, о чем свидетельствуют селевые отложения в руслах основных рек. Часто зарождение селя происходит в русле одного из притоков, а дальнейшее движение продолжается по основному руслу. Множество притоков основных рек является потенциально селевыми, к тому же в них развивается эрозия бортов, и пренебрегать их селевой и оползневой опасностью не стоит. Генезис селепроявлений является в основном дождевым, снегодождевым. И только в истоках обеих рек Козыдон и Зедегондон, несмотря на присутствие оледенения, возможен генетический тип селей – ледниково-дождевой. Это объясняется наличием огромных запасов рыхлообломочных моренных отложений в перигляциальной зоне (рис. 3).

В ходе полевых выездов была произведена аэрофотофиксация рельефа ущелья. В результате был сформирован электронный архив, благодаря которому стало возможным использовать данные снимки для визуализации исследуемой местности в трехмерном пространстве (рис. 4).



Рис. 2. Озеро южного цирка на высоте 2778 м над уровнем моря
(снимок с квадрокоптера)

Fig. 2. Lake of the southern cirque at an altitude of 2778 m above sea level
(picture from a quadcopter)



Рис. 3. Состояние селепропускных лотков
Fig. 3. Condition of mudflow gutters

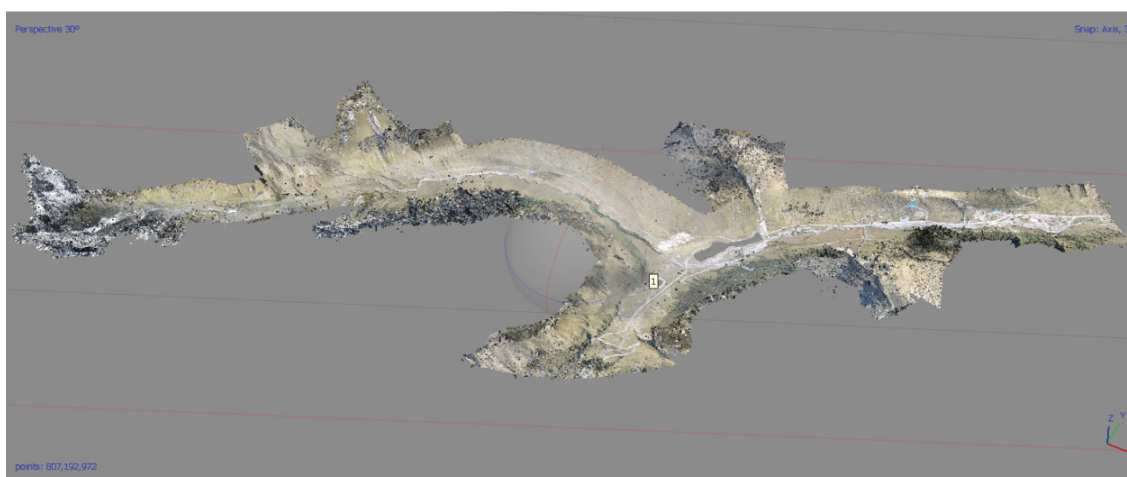


Рис. 4. Визуализация исследуемой местности в трехмерном пространстве
Fig. 4. Visualization of the area under study in three-dimensional space

На основе полученной информации, в ходе полевых выездов, на исследуемой территории были построены ортофотоплан и цифровая модель рельефа (рис. 5, 6).

Согласно концепции «Корректировка проекта планировки территории, проекта межевания территории, разработка плана обустройства и соответствующего материально-технического оснащения, разработка интерактивной информационной 3D-модели особой экономической зоны туристско-рекреационного типа в границах

муниципального образования Алагирский район Республики Северная Осетия-Алания (ВТРК «Мамисон») и прилегающей к ней территории. Т. 1. Концепция проекта планировки», разработанному ГАУ «Институт генплана Москвы» в 2022 г. (далее – Концепция проекта планировки), запланировано 3 этапа освоения территории ВТРК «Мамисон»:

– этап 1 (2022-2030 гг.) включает в себя развитие территории на левом берегу реки Мамихдон на высотах от 2022-3160 м;

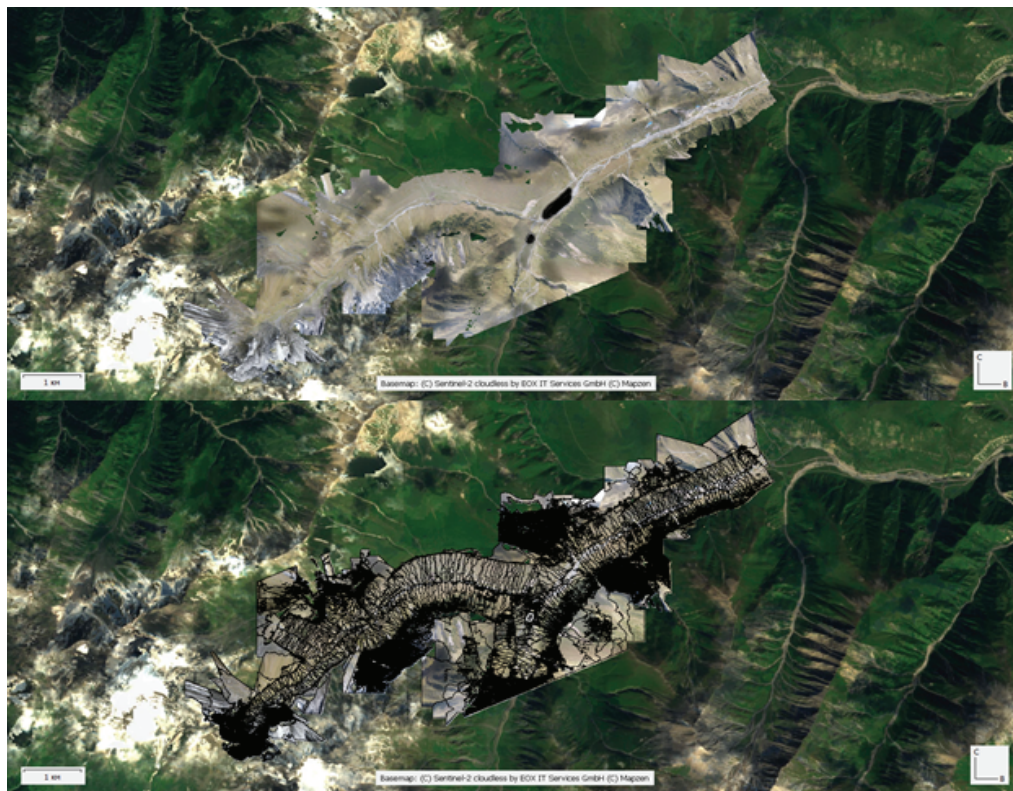


Рис. 5. Ортофотоплан высокого разрешения территории для возможности последующего анализа

Fig. 5. High-resolution orthophotoplane of the territory for possible subsequent analysis

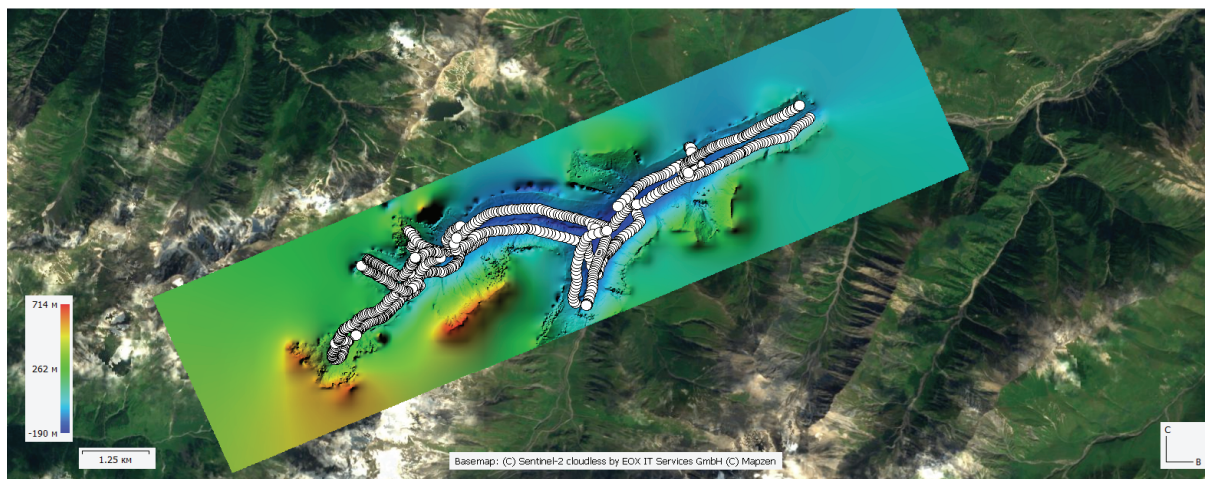


Рис. 6. Карта относительной высоты исследуемой местности

Fig. 6. Map of the relative height of the area under study

– этап 2 (2023-2028 гг.) предусматривает развитие территории в долинах реки Козыдон и Гибитандон на высотах от 2020 до 3010 м;

– этап 3 (2031-2040 гг.) предполагает развитие территории в непосредственной близости от ледника Зарамаг на высоте от 3160 до 3690 м.

На рисунке 7 представлена общая схема этапности освоения территории, где показаны проектируемые и строящиеся канатные дороги (черные линии) и лыжные трассы (синие линии).

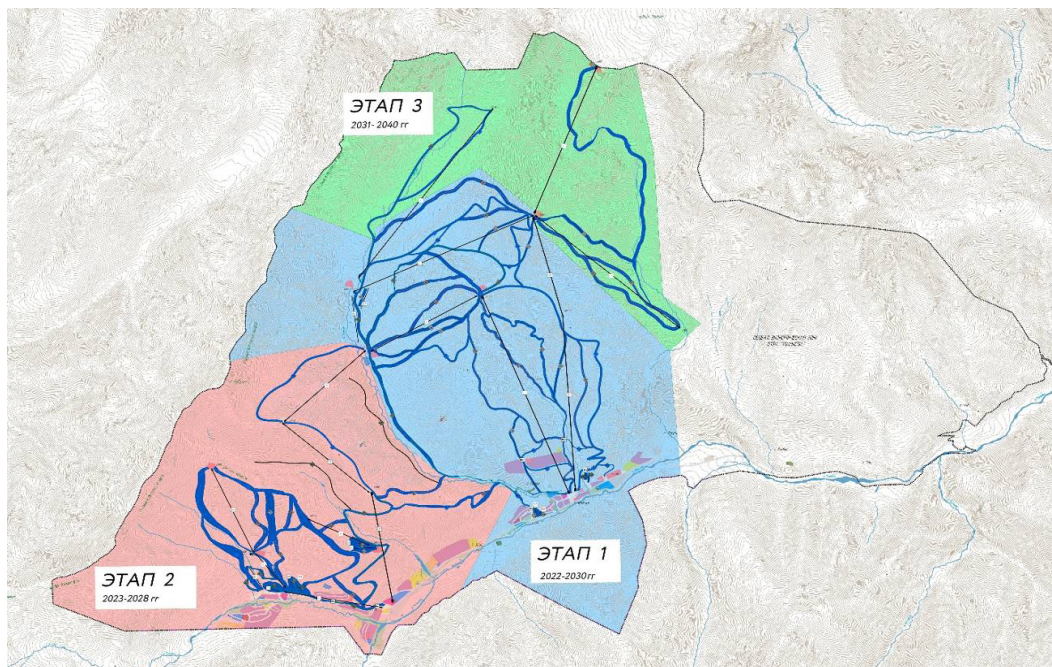


Рис. 7. Освоение по этапам территории ВТРК «Мамисон» согласно Концепции проекта планировки
Fig. 7. Development of the territory of the “Mamison” VRC in stages according to the Concept of the planning project

Выводы

В процессе работы проведена аэрофотосъемка склонов и русла р. Мамисон с использованием БПЛА DJI Mavic Air 2. Проведены работы по изучению русловых процессов в главной реке и ее притоках. Оценены селевые отложения и состояние селепропускных каналов.

После обработки аэрофотоснимков созданы ортофотоплан и цифровая модель рельефа с относительными высотами для дальнейшего выполнения оценки площади лавинных и селевых очагов.

В результате обследования на территории было выявлено значительное количество опасных процессов для инфраструктуры ВТРК «Мамисон» и района в целом:

* следы селепроявлений по притокам реки Мамисон;

* приледниковое озеро, несущее угрозу формированием прорывного паводка при падении обвальных масс в озеро;

* каменные глетчеры, гляциально-коллювиальные, льдосодержащие рыхлообломочные материалы как угроза для объектов рекреации;

* оползневые и обвальные процессы как по дороге до комплекса, так и на территории ВТРК «Мамисон».

Полевые исследования показывают, что почти все притоки и сам Мамихдон являются селеносными. Сели происходят нечасто, о чем свидетельствует площадь лишайников на селевых отложениях. Анализ архивных спутниковых снимков показывает (и данные это подтверждают), что частота селей в районе обследования составляет в среднем один раз в 3-5 лет.

Список использованных источников

1. Кондратьева Н.В. Кадастр селевой опасности юга европейской части России / Н.В. Кондратьева, А.Х. Аджиев, М.Ю. Беккиев и др. М.: Нальчик, Феория – Печатный двор. 2015. 148 с. EDN: VHCUJH
2. Тавасиев Р.А. Ледники, каменные глетчеры и озера комплекса «Мамисон» // Вестник Владикавказского научного центра. 2013. Том 13, № 3. С. 33-41. EDN: RBZRTF

References

1. Kondratyeva N.V. Cadaster mudflow dangers of the south of the European part of Russia / N.V. Kondratyeva A.Kh. Adzhiev, M.Yu. Bekkiev. 2015. 148 p. EDN: VHCUJH
2. Tavasiev R.A. Glaciers, stone glaciers and lakes of the Mamison complex // Bulletin of the Vladikavkaz scientific center. 2013. Vol 13, No 3. P. 33-41. EDN: RBZRTF

3. Кондратьева Н.В. Современное состояние селевых процессов на территории Всесезонного туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Бассейн реки Терек: проблемы регулирования и реабилитации водных объектов. Махачкала: Открытое акционерное общество «Севкавгипроводхоз», 2015. С. 193-200. ISBN 978-5-91266-053-5.

4. Тавасиев Р.А. Каменные глетчеры Северной Осетии и их значение для устойчивого развития горных территорий // Вестник Владикавказского научного центра, 2011, Том 11, № 3. С. 48-54.

5. Тавасиев Р.А. Ледники, каменные глетчеры и озера горы Халаца // Вестник Владикавказского научного центра, 2010. Том 10, № 1. С. 34-42.

6. Тавасиев Р.А. Ледники и каменные глетчеры Козского ущелья // Вестник ВНИЦ, 2008. Том 8, № 4. С. 63-68.

7. Беккиев М.Ю. Деградация ледников в бассейне реки Земегондон (Центральный Кавказ) в 1957-2021 годах // Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Шагин С.И. // Вестник Владикавказского научного центра. Устойчивое развитие. Том 3. 2022. С. 55-64.

8. Докукин М.Д. Особенности динамики ледниковых озер с подземными каналами стока (анализ разновременной аэрокосмической информации) / М.Д. Докукин, С.И. Шагин // Криосфера Земли, 2014, Том XVIII, № 2, С. 47-56.

9. Докукин М.Д. Приледниковые озера в Бассейне р. Земегондон (Республика Северная Осетия-Алания): динамика и потенциальная опасность / М.Д. Докукин, М.Ю. Беккиев, Р.Х. Калов, С.И. Шагин // Грозненский естественнонаучный бюллетень, Том 7, № 3 (29), 2022. С. 12-19.

10. Докукин М.Д. Типы моренного рельефа и селевая опасность (на примере северного склона Центрального Кавказа) // Автореферат диссертации, на соискание ученой степени кандидата географических наук, Географический ф-т МГУ. Москва, 1993. 22 с.

11. Докукин М.Д. Каменные глетчеры Центрального Кавказа как селевые очаги // Труды Высокогорного геофизического института, Вып. 70, М.: Гидрометеоиздат. 1987, С. 33-42.

Об авторах

Наталья Владимировна Кондратьева, д-р геогр. наук, профессор, ORCID: 0000-0001-7313-4489; Skopus 59157989400; kondratyeva_nat@mail.ru

Залина Музариновна Кереева, канд. физ.мат наук, доцент; ORCID: 0000-0002-0180-3759, Skopus 57219271959; zknayaz-kbsu@mail.ru

Ахмат Русланович Акаев, аспирант и инженер лаборатории, ORCID: 0000-0003-4257-9578; akaev.axmat@mail.ru

Ислам Жирасланович Шидугов, инженер лаборатории гляциологии, ORCID: 0009-0000-4778-172X, Skopus 57370145800; shidugovislam@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Кондратьева Н.В., Кереева З.М., Акаев А.Р., Шидугов И.Ж. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Кондратьева Н.В., Кереева З.М., Акаев А.Р., Шидугов И.Ж. 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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 13.12.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 16.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 16.02.2025

3. Kondratyeva N.V. Current state of mudflow processes on the territory of the All-Season Tourist and Recreational Complex "Mamison" // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Terek River Basin: Problems of Regulation and Rehabilitation of Water Objects". Makhachkala: Open Joint-Stock Company "Sevkavgirovodkhoz", 2015. P. 193-200. ISBN 978-5-91266-053-5.

4. Tavasiev R.A. Stone glaciers of North Ossetia and their significance for the sustainable development of mountain territories // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center, 2011, Vol. 11, No 3. P. 48-54.

5. Tavasiev R.A. Glaciers, stone glaciers and lakes of Mount Khalatsa // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center, 2010. Volume 10, No 1. P. 34-42.

6. Tavasiev R.A. Glaciers and stone glaciers of the Koz Gorge // Vestnik VNTs, 2008. Volume 8, No 4. P. 63-68.

7. Bekkiev M.Yu. Degradation of glaciers in the Zemegondon River basin (Central Caucasus) in 1957-2021 // Bekkiev M.Yu., Dokukin M.D., Kalov R.Kh., Shagin S.I. / Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. Sustainable development. Volume 3. 2022. P. 55-64.

8. Dokukin M.D., Shagin S.I. Features of the dynamics of glacial lakes with underground drainage channels (analysis of multi-temporal aerospace information) / M.D. Dokukin, S.I. Shagin // Cryosphere of the Earth, 2014, Volume XVIII, No 2, P. 47-56.

9. Dokukin M.D. Glacial lakes in the Zemegondon river basin (Republic of North Ossetia-Alania): dynamics and potential danger / M.D. Dokukin M.Yu. Bekkiev, R.Kh. Kalov., S.I. Shagin // Grozny Natural Science Bulletin. Volume 7, No 3 (29), 2022. P. 12-19.

10. Dokukin M.D. Types of moraine relief and mudflow hazard (on the example of the northern slope of the Central Caucasus) // Abstract of the dissertation, for the degree of candidate of geographical sciences, Geographical Faculty of the Moscow State University. Moscow, 1993. 22 p.

11. Dokukin M.D. Stone glaciers of the Central Caucasus as mudflow centers // Proceedings of the High Mountain Geo-Physical Institute, Issue 70, Moscow: Gidrometizdat. 1987, P. 33-42.

About the authors

Nataliya V. Kondratyeva, DSc (Geogr), professor, ORCID: 0000-0001-7313-4489; Skopus 59157989400; kondratyeva_nat@mail.ru

Zalina M. Kerefova, CSc (Phys-Math), associate professor; ORCID: 0000-0002-0180-3759, Skopus 57219271959; zknayaz-kbsu@mail.ru

Akhmat R. Akaev, post graduate student and engineer of the laboratory, ORCID: 0000-0003-4257-9578; akaev.axmat@mail.ru

Islam Zh. Shidugov, engineer of the glaciology laboratory, ORCID: 0009-0000-4778-172X, Skopus 57370145800; shidugovislam@mail.ru

Kondratyeva N.V., Kerefova Z.M., Akaev A.R., Shidugov I.Zh. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. Kondratyeva N.V., Kerefova Z.M., Akaev A.R., Shidugov I.Zh. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

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

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-119-128>

УДК 635.92/712



ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОГО ЭФФЕКТА НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ С ВОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ И ВИДАМИ РОДА *SALIX*

А.А. Вергунова , О.Б. Сокольская, П.Н. Проездов, А.В. Розанов

ФБОУ ВО Вавиловский университет; 410012; г. Саратов. ул. Советская, 60. Россия

Аннотация. Цель исследований: установление рекреационного эффекта посадок ивовых насаждений в городском парке Вольска Саратовской области под влиянием различных водных источников. В статье представлено установление рекреационного эффекта посадок ивовых насаждений под влиянием различных водных источников в городском парке Вольска Саратовской области. Методика исследований опиралась на натурные и визуальные методы анализа среды. Использована математическая модель О.Б. Сокольской по определению рекреационного эффекта от освещения и от времени с последующим ее улучшением и насыщением данных по параметрам: структуры зеленых насаждений на берегах и вблизи водоемов, динамичности водных объектов, затенения поверхности растительными объектами (включая водную). Определено, что рекреационный эффект зависит от высоты прибрежной растительности, близости ее к воде, высоты солнца, то есть часа дня, и длительности осмотра. Выявлено, что прибрежные зеленые насаждения и их тени заметно влияют на общую аттрактивность ландшафтных объектов с водными пространствами. Установлено, что исследуемая «Зона ручьев» имеет большую затененность (в 1,5 раза), а динамичность потоков повышается на границах ручьев и пруда. «Зона пруда» обладает преимущественным рекреационным эффектом перед остальными исследуемыми территориями. Самым значимым расширенным рекреационным эффектом владеет «Зона ручьев» (1,2), что в 1,3-2,7 раз превышает РЭ других территорий. Ивовые культуры вида рода *Salix* обладают рядом преимуществ перед другими зелеными насаждениями.

Ключевые слова: виды рода *Salix*, озеленение, городские территории, водные источники, прибрежные территории, рекреационный эффект, аттрактивность, удельный рекреационный потенциал, степени затенения зеркала водоема, коэффициент сезонности, степень динамичности самих водных объектов

Формат цитирования: Вергунова А.А., Сокольская О.Б., Проездов П.Н., Розанов А.В. Оценка рекреационного эффекта на городских территориях с водными источниками и видами рода *SALIX* // Природообустройство. 2025. № 1. С. 119-128. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-119-128>

Scientific article

ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL EFFECT IN URBAN AREAS WITH WATER SOURCES AND SPECIES OF THE GENUS *SALIX*

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

FBEI HE Vavilov University, 60, Sovetskaya St., 410012; Saratov, Russia

Abstract. The purpose of the research is to establish the recreational effect of willow planting in the Volsk city park of the Saratov region under the influence of various water sources. The article establishes the recreational effects of willow plantings in the Volsk city Park of the Saratov region under the influence of various water sources. The research methodology was based on full-scale and visual methods of environmental analysis. The mathematical model of O.B. Sokolskaya was used to determine the recreational effect of lighting and time, followed by its improvement and saturation of data by parameters: the structure of green spaces on the banks and near reservoirs, the dynamism of water bodies, the shading

of the surface by plant objects (including aquatic ones). It was determined that the recreational effect depends on the height of the coastal vegetation, its proximity to the water, the height of the sun (i.e., the hour of the day) and the duration of the inspection. It was revealed that coastal green spaces and their shadows significantly affect the overall attractiveness of landscape objects with water spaces. It was found that the studied "Stream Zone" has a greater shade by 1.5 times, and the dynamism of streams increases at the borders of streams and ponds. The "pond zone" has a predominant recreational effect over the rest of the studied territories. The most significant extended recreational effect is owned by the "Stream Zone" – 1.2, which is 1.3-2.7 times higher than the RE of other territories. Willow crops of the genus *Salix* have a number of advantages over other green spaces.

Keywords: *Salix*, landscaping, urban areas, water sources, coastal areas, recreational effect, attractiveness, specific recreational potential, degrees of shading of the reservoir mirror, seasonality coefficient, degree of dynamism of the water bodies themselves

Format of citation: Vergunova A.A., Sokolskaya O.B., Proezdov P.N., Rozanov A.V. Assessment of the recreational effect in urban areas with water sources and species of the genus *SALIX* // Prirodoobutroystvo. 2025. No. 2. P. 119-128. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-119-128>

Введение. Рекреационный эффект является результатом функционирования рекреационной системы. Его значимость определяется изменениями психофизического состояния отдыхающих, которые можно измерить количественно. Основным источником рекреационного эффекта служит рекреационный потенциал природной и антропогенной среды, а также ее наиболее активной составляющей – рекреационных ресурсов. Психологически отдыхающих привлекает любой водный источник, где можно активно или пассивно провести время и насладиться красивыми пейзажами.

Рекреационный эффект изучался в основном учеными в области наук о Земле, туризма, географии и водных ресурсов, экологии: Веденин, 1975 [1]; Эрингис, Будрюнас, 1975 [2]; Поморов, Кантеев, 1997 [3]; Николаев, 1999 [4]; Калашникова, 2003 [5]; Дирин, 2005, 2019 [6, 7]; Гуляева, 2012 [8]; Кириллова, 2012 [9]; Красовская, 2014 [10]; Корф, 2014 [11]; Назаренко, Рубан, Заяц, 2015 [12]; Чурилова, Лопина, 2021; Андреева, 2022 [13]; Часовский, Нижникова, 2023 [14]; и др.

Тем не менее в области озеленения населенных пунктов работы по рекреационному эффекту с использованием регрессионной математической модели аттрактивности уделялось большое значение О.Б. Сокольской (2006, 2014, 2021-2023) [15, 16, 18], а также А.А. Вергуновой, П.Н. Проедова (2022) [18]. Однако эти исследования были сосредоточены на общих аспектах – таких, как время осмотра, частота появления элементов, фон среды, коэффициент отражения света зелеными насаждениями и влияние окружающей растительности и городской среды, а также сезонные характеристики. Однако ранее не учитывались эффекты тени, динамика водных объектов и структура зеленых насаждений,

которые существенно влияют на аттрактивность территории, привлекая посетителей, что является актуальным для их отдыха и активизации туристического процесса.

Цель исследований: установление рекреационного эффекта посадок ивовых насаждений в городском парке Вольска Саратовской области под влиянием различных водных источников.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- выявить удельный рекреационный потенциал (R_p) для исследуемых участков;
- найти зависимость коэффициента аттрактивности от удельного рекреационного потенциала, сезонного использования и времени восприятия объектов (зон исследования);
- усовершенствовать математическую модель для рекреационного эффекта и по ней определить расширенный рекреационный эффект (R_{Σ}) со значениями параметров, управляющих им;
- установить зависимость рекреационного эффекта от структуры зеленых насаждений и степени динамичности водного объекта;
- наглядно представить связь и взаимовлияние параметров расширенного рекреационного эффекта на диаграммах.

В статье показано рекреационное воздействие зеленых насаждений в населенных пунктах Приволжской возвышенности на примере Вольского городского парка с использованием регрессионной математической модели привлекательности озелененных участков, в том числе расположенных вблизи водоемов. В связи с этим было оценено качество рекреационной среды, способствующее или потенциально способное повысить рекреационный эффект для отдыхающих. Новизна наших исследований заключается

в усовершенствованном подходе, который включает в себя математическое моделирование, оценку привлекательности ландшафтно-архитектурных объектов и определение их рекреационного воздействия с водными источниками, при помощи картографических материалов, спутниковых изображений, фотографий и видеозаписей, то есть без непосредственного посещения объекта.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на базе существующего городского парка в г. Вольске Саратовской области, который имеет водные территории: пруд, ручьи, участки с близким расположением грунтовых вод. Объекты исследований – виды рода *Salix*, высаженные нами в 2018 г., а также водные пространства, рельеф местности, визуальное окружение, существующие постройки и сооружения. Природная зона – южная лесостепь Приволжской возвышенности (рис. 1).

Нами применялись топографические и спутниковые карты этой территории. На топографической карте были отображены следующие элементы: рельеф (с использованием горизонталей, что позволяет определить динамику водных объектов), зеленые насаждения и сооружения (здесь определяется коэффициент отражения света на поверхности объекта, поскольку известны материалы сооружений и состав зеленого массива, а также падающая от них тень на поверхности), стороны света (для определения направления тени от зеленых насаждений и сооружений на поверхности).

Применялись натурные и визуальные методы анализа среды. Использована математическая модель по определению рекреационного эффекта от освещения и от времени осмотра ($\Xi_{\text{общ}}$) О.Б. Сокольской (1):

$$\Xi = A \cdot r \cdot e^{-0,5m} \int_0^T e^{-t/(K_1+K_2)} dt, \quad (1)$$

где A – коэффициент аттрактивности; r – коэффициент отражения светового потока поверхностью объекта: темный фон ($0,05 < r < 0,20$); средний фон ($0,20 < r < 0,45$); светлый фон ($0,5 < r < 0,7$); m – частота появления элементов объекта при осмотре ($m = 0; 1; 2$); T_i – время осмотра объекта, ч ($1 < T_i < 2, i = 1, 2$); K_1 и K_2 – коэффициенты пропорциональности, соответствующие времени осмотра T_1 и T_2 , где T_1 – время осмотра, связанное с естественным освещением объекта, ч, T_2 – время осмотра, связанное с увеличением времени осмотра при искусственном освещении, ч, $K_1 = 0,3$; $K_2 = 0,4$.

Нами составлена оценка качества аттрактивности (привлекательности) исследуемых участков, где вес признаков определялся в пределах 0 до 1 в соответствии с методикой О.Б. Сокольской и определены показатели веса

качества для рекреационных территорий [16]. Учитывалось, что территории с разнообразными рекреационными ресурсами – такими, как леса, озера, реки, горы и равнины, обладают высокой привлекательностью благодаря мозаичным и композиционным свойствам ландшафта. Качество водных объектов и древесной растительности, включая хвойные и смешанные леса, куртины и рощи, обогащает пейзаж, цветовую гамму и создает дополнительные возможности для отдыха, повышая привлекательность ландшафтов. Эти топологические характеристики местности важны для эстетической ценности территории, которая определяется разнообразием, контрастностью и уникальностью ее ландшафтов.

В исследованиях нами использованы методы натурного обследования, математического моделирования, оценивания и испытания.

Параметр затенения поверхности растительными объектами (включая водную) Z ($0 < Z < 1$) определялся по формуле (2):

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{L_{MIN}}{L_{Ti}}, \quad (2)$$

где L_{Ti} – длина тени отдельного объекта зеленого насаждения, соответствующая текущей высоте g_i Солнца над горизонтом, м (3); L_{MIN} – минимальная длина тени при наибольшей высоте Солнца в полдень, м [190, 194, 216].

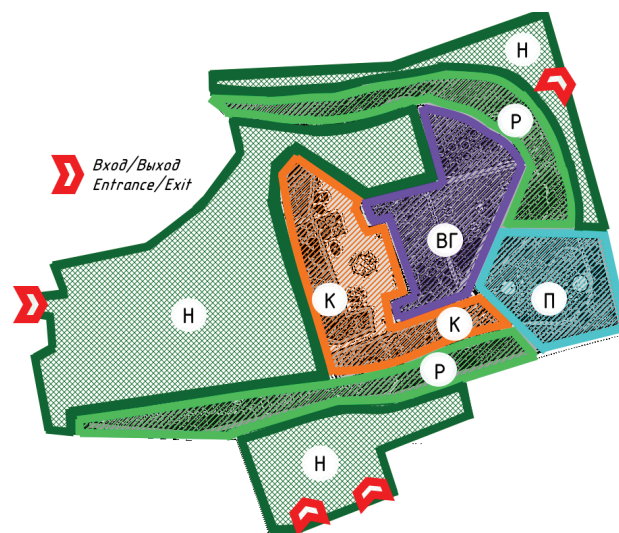


Рис. 1. Схема исследований (городской парк, г. Вольск, Саратовская обл.):

К – зона контроля, Р – зона ручья,
П – зона пруда, ВГ – зона грунтовых вод;
Н – нейтральная зона, где нет водных
источников и ивовых насаждений

Fig. 1. Research scheme
(city park, Volsk, Saratov region)

K – control zone; P – stream zone; P – pond zone;
VG – groundwater zone; H – neutral zone where
there are no water sources. plantings (a neutral zone where
there are no water sources and willow plantations)

$$L_{Ti}(g) = h/\operatorname{tg}(g), \quad (3)$$

где h – высота объекта зеленого насаждения, м; g – высота солнца над горизонтом, град.

Отметим, что в городском парке Вольска есть нейтральные зоны, где нет водных источников и ивовых насаждений, поэтому эти территории не входили в процесс исследования (рис. 1).

Результаты и их обсуждение. Нами определены весовые коэффициенты показателей качества для исследуемых участков. Сумма показателей веса качества для каждой зоны исследований составляет удельный рекреационный потенциал (Рп) (Specific recreational potential), а также зависимость коэффициента аттрактивности (А) (The coefficient of attractiveness) от удельного рекреационного потенциала, сезонного использования (Кс) (The coefficient of seasonality) и времени восприятия (Т) (Perception time) объектов (зон исследования), которые указаны в таблице.

Из данных таблицы следует, что наиболее привлекательной для рекреации территорией является «Зона ручьев» – 7,15 балла.

Рекреационный потенциал был откорректирован при помощи коэффициента сезонности (Кс) и времени пребывания на объекте (Т). Таким образом, коэффициент сезонности (Кс) был принят также для корректировки коэффициента аттрактивности (он должен быть в пределах $0 < A \leq 1$). Исследуемые зоны используются или круглогодично, или в летний сезон (весна с зеленью/лето/до середины осени – вегетационный период), зон, эксплуатируемых только в зимний период, вообще на этом объекте нет. В данном объекте исследований две зоны имеют круглогодичное использование: К – выставка военной техники/аттракционы/площадка для свадебных церемоний; ВГ – прогулки/транзит/отдых в тени зеленых насаждений. А две зоны активно используются в летнее время: П – прогулки/релакс/кормление водоплавающих и рыб/отдых у воды; Р – прогулки/видовые перспективы/фотозоны у воды/водяная мельница/водопады. Коэффициент аттрактивности – А, где учитывалась совокупность рекреационных потенциалов: удельный рекреационный потенциал (Рп), а также время восприятия в баллах (Т) (например, 1 час

Таблица. Расширенный рекреационный эффект (РЭ)*

Table. Extended recreational effect (РЭ)*

Рекреационный объект (Recreational object)	¹ РЭ	Параметры, участвующие в определении расширенного рекреационного эффекта, РЭ (Parameters involved in determining the extended recreational effect)				Параметры, участвующие в определении рекреационного эффекта, Э (Parameters involved in determining the recreational effect)		Параметры, участвующие в определении коэффициента аттрактивности, А (Parameters involved in determining the coefficient of attractiveness)		
		² Z	³ Str	⁴ Dw	⁵ Э _{общ}	⁶ ρ	⁷ A	⁸ Kc	⁹ T	¹⁰ Pn
Зона контроля (К) (Control area)	0,55	0,19	0,2	0,0	0,166	0,4	0,80	0,3	2,50	5,79
Зона ручьев (Р) (Stream zone)	1,2	0,5	0,3	0,15	0,250	0,5	0,91	0,2	1,40	7,15
Зона пруда (П) (Pond area)	0,93	0,30	0,1	0,30	0,230	0,5	0,86	0,2	1,30	6,02
Зона грунтовых вод (ВГ) (Groundwater zone)	0,45	0,1	0,3	0,0	0,048	0,2	0,74	0,3	0,30	3,31

*В таблице использованы следующие обозначения: ¹ расширенный рекреационный эффект; ² параметр затенения поверхности растительными объектами (включая водную); ³ параметр структуры зеленых насаждений на берегах и вблизи водоемов; ⁴ параметр динамичности водных объектов; ⁵ рекреационный эффект от освещения, от длительности осмотра с учетом А и r; ⁶ коэффициент отражения светового потока поверхностью объекта; ⁷ коэффициент аттрактивности; ⁸ коэффициент сезонности: $Kc_1 = 0,3$ – круглогодичный; $Kc_2 = 0,2$ – летнего сезона (весна с листьями/лето/осень до опадения листвы; $Kc_3 = 0,1$ – зимнего сезона (поздняя осень/зима/ранняя весна). Поскольку парк используется круглогодично, Кс для зон $Kc_1 = 0,3$; ⁹ время осмотра/восприятия территории; ¹⁰ удельный или суммарный рекреационный потенциал, зависящий от разных факторов, где расположен объект исследований.

*Note. The following designations are used in the table: ¹ extended recreational effect; ² parameter of surface shading by plant objects (including aquatic ones); ³ parameter of the structure of green spaces on the banks and near reservoirs; ⁴ parameter of dynamism of water bodies; ⁵ recreational effect from lighting, from the duration of inspection taking into account A and r; ⁶ coefficient of reflection of the luminous flux by the surface of the object; ⁷ coefficient of attractiveness; ⁸ coefficient of seasonality: $Kc_1 = 0,3$ – year-round; $Kc_2 = 0,2$ – summer season (spring with leaves/ summer/ autumn before foliage falls; $Kc_3 = 0,1$ – winter season (late autumn/winter/early spring). Since the park is used all year round, the Kc for zones $Kc_1 = 0,3$; ⁹ time of inspection / perception of the territory; ¹⁰ specific or total recreational potential, depending on various factors, where the object of study is located

30 мин = 1,30 балла) в зоне рекреации и сезонный показатель (K_c), когда наблюдалась наибольшая потребность в данных объектах рекреации.

Нами определен расширенный рекреационный эффект зеленых насаждений при помощи регрессионной математической модели аттрактивности. В этой связи оценены те качества среды, которые способствуют повышению рекреационного эффекта у посетителя, то есть помимо $\Theta_{\text{общ}}$, включены следующие параметры: Str – параметр структуры зеленых насаждений на берегах и вблизи водоемов ($0 < Str < 1$); Dw – параметр динамичности водных объектов ($Dw = 1; 1,5; 2$); Z – параметр затенения поверхности растительными объектами (включая водную) ($0 < Z < 1$).

Таким образом, нами разработана улучшенная математическая модель для оценки рекреационного воздействия (РЭ), которая представлена в виде унифицированной формулы (4, 5):

$$РЭ = Str + Dw + Z + \Theta_{\text{общ}} \quad (4)$$

или

$$РЭ = \sum_{i=1}^K p_{\varepsilon_i}, \quad (5)$$

где $p_{\varepsilon_1} = Str$ – параметр структуры зеленых насаждений на берегах и вблизи водоемов ($0 < Str < 1$); $p_{\varepsilon_2} = Dw$ – параметр динамичности водных объектов; $p_{\varepsilon_3} = Z$ – параметр затенения зеркала водной поверхности растительными объектами, $p_{\varepsilon_4} = \Theta_{\text{общ}}$ – рекреационный эффект от освещения и от длительности осмотра; $K = 4$.

Исследования демонстрируют, что территории озеленения с высоким эстетическим и рекреационным потенциалом характеризуются наличием художественно-декоративной растительности, размещенной на живописных рельефах с водоемами (ручьями и прудами), сохраняющей различные элементы – такие, как малые архитектурные формы (МАФ) включая исторические или реконструированные объекты. Все это привлекает отдыхающих и создает комфортные условия для их пребывания на исследуемых участках.

Из данных таблицы также следует, что с учетом основных параметров расширенный рекреационный эффект больше в зоне ручьев – 1,2. Учтено, что на воде тень больше видна, чем на асфальте (плитке) и газоне, следовательно, тень на воде четче, далее идет плитка (асфальт) и только потом – газон. Например, если объект находится рядом с отражающей поверхностью, то тень может иметь отражение или оттенок от этой поверхности [16]. Они помогают придать объемность объектам и создать иллюзию их взаимодействия с окружающей средой. Формирование

тени требует учета различных факторов – таких, как источник света, форма объекта и поверхность, на которую падает тень (Щепетков Н.И. Сборник задач по архитектурной светологии. М.: АРХИ, 2011. 76 с.).

С точки зрения математики расширенный рекреационный эффект (РЭ) – это многопараметрическая функция, геометрический образ которой в многомерном пространстве параметров представлен как гиперповерхность сложной формы. На плоскость эту поверхность можно спроецировать только с использованием отдельных двумерных или трехмерных сечений.

На рисунке 2 представлена общая схема изменения площади тени, отбрасываемой прибрежными растительными объектами на водную поверхность, в зависимости от часа дня, размера водоема и высоты зеленых насаждений, которая используется для расчета расширенного рекреационного эффекта.

Аттрактивность объектов с водными пространствами и прибрежной растительностью во многом зависит от степени динамичности водного объекта Dw и структуры прибрежных зеленых насаждений Str .

Значение параметра структуры зеленых насаждений Str зависит от их структуры. Структура зеленых насаждений подразделяется на следующие виды:

- плотная, почти без просветов по всему профилю конструкция;
- ажурная конструкция, характеризующаяся мелкими и средними просветами, равномерно распределенными по всему профилю;
- продуваемая конструкция со многими крупными просветами между стволами и почти без просветов в кронах.

Для каждого типа конструкции зеленых насаждений был определен расчетным путем безразмерного параметра Str , который показывает плотность отбрасываемой тени. Например, для плотной конструкции Str равен 0,1, для ажурной – 0,2, а для продуваемой – 0,3.

Динамические свойства водных объектов (Dw) оценивались с использованием оптических наблюдений и субъективно-статистических анализов. Эксперты определили, что ламинарное движение грунтовых вод, или «динамичность» спокойной поверхности озер и прудов, соответствует значению Dw , равному 0,1, то есть $Dw = 0,1$. Для переходного типа движения воды при впадении и выходе ручьев из пруда значение Dw составляет 0,3, а для турбулентного движения воды в самих ручьях на холмистой местности – 0,4.

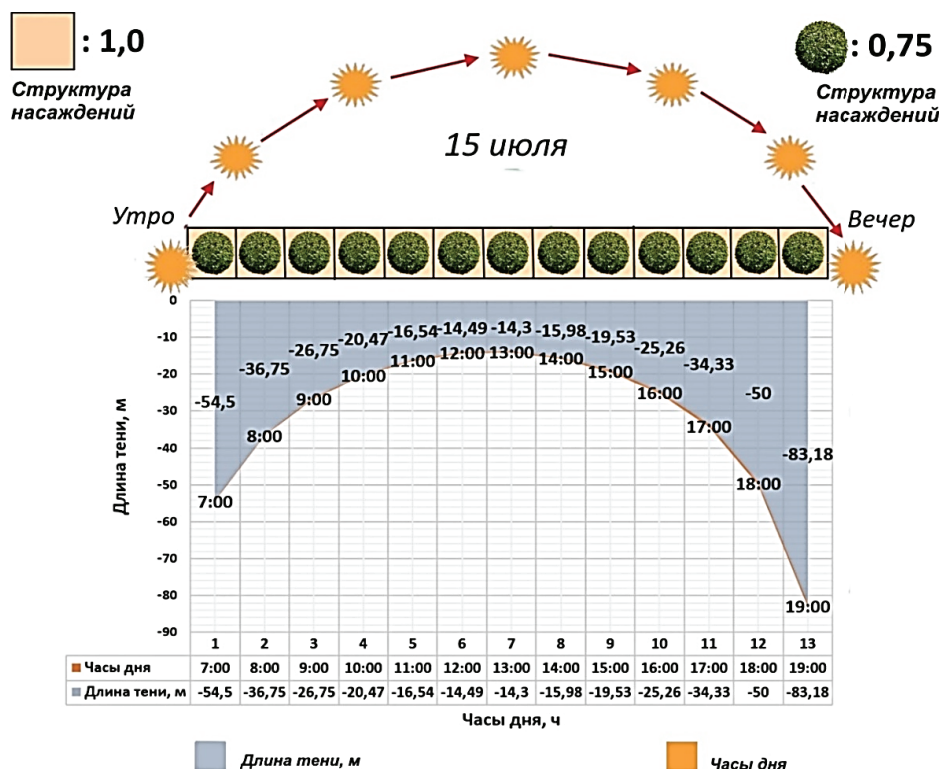


Рис. 2. Зависимости степени затенения зеркала водоема от часа дня, размера водоема и высоты зеленых насаждений

Fig. 2. Depending on the degree of shading of the reservoir mirror on the hour of the day, the size of the reservoir and the height of the green spaces

На рисунках 3-5 показаны зависимости расширенного рекреационного эффекта от структуры зеленых насаждений и степени динамичности водного объекта, рассчитанные для 8.00 утра (рис. 3), затем – для 14.00 дня (рис. 4), далее – для 20.00 часов (рис. 5).

На рисунке 4 показана зависимость рекреационного эффекта от структуры зеленых

насаждений и степени динамичности водного объекта для 14.00 дня, когда естественное освещение наиболее эффективно влияет на привлекательность при наиболее высоком положении солнца. Это обусловлено тем, что плотные тени увеличивают контрастность объектов и различимость мелких деталей на них. Кроме того, чередование теневых и светлых открытых участков

$$Z = 7,02 \cdot \text{Str}^2 - 1,27 \cdot \text{Str} + 0,6 \cdot \text{Dw} + 0,026; \quad R^2 = 0,96$$

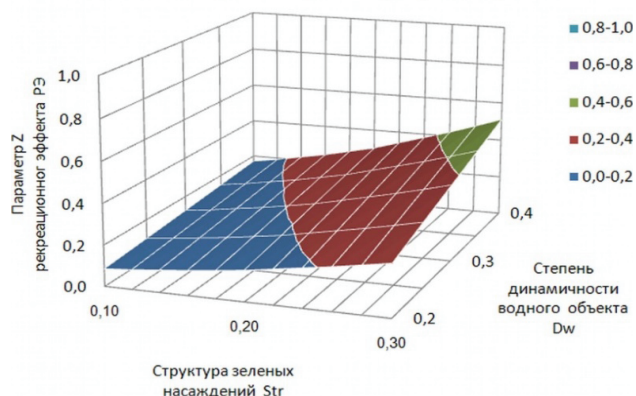


Рис. 3. Зависимость рекреационного эффекта от структуры зеленых насаждений и степени динамичности водного объекта для 8.00 утра

Fig. 3. Dependence of the recreational effect on the structure of green spaces and the degree of dynamism of the water body for 8 a.m.

$$Z = 12,87 \cdot \text{Str}^2 - 1,97 \cdot \text{Str} + 0,8 \cdot \text{Dw} + 0,068; \quad R^2 = 0,97$$

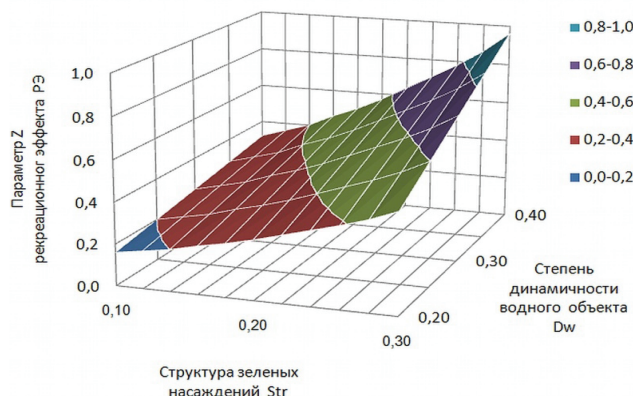


Рис. 4. Зависимость рекреационного эффекта от структуры зеленых насаждений и степени динамичности водного объекта для 14.00 дня

Fig. 4. The dependence of the recreational effect on the structure of green spaces and the degree of dynamism of the water body for 14 p.m.

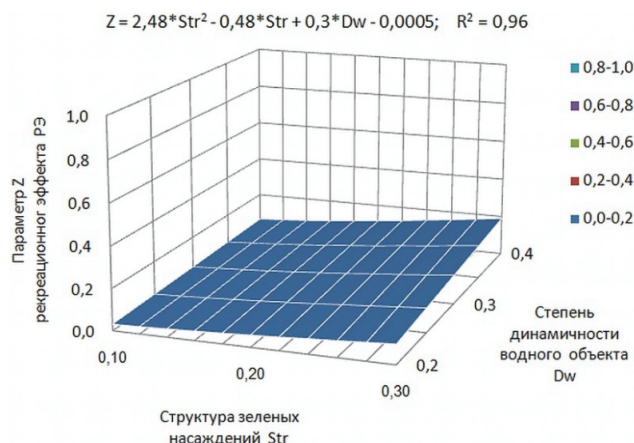


Рис. 5. Зависимость рекреационного эффекта от структуры зеленых насаждений и степени динамичности водного объекта для 20.00 часов

Fig. 5. The dependence of the recreational effect on the structure of green spaces and the degree of dynamism of the water body for 20 hours

придает ландшафту дополнительные эффекты оптического разнообразия и психологической привлекательности [15].

Таким образом, в течение светового дня период для посещения объектов ландшафтной архитектуры с водными пространствами является наиболее оптимальным. В вечернее время общая освещенность ландшафта быстро падает, контраст открытых и теневых участков заметно уменьшается, и дальнейший осмотр становится малопривлекательным, следовательно, необходима искусственная подсветка (рис. 5). Наибольших значений показатели рекреационного эффекта достигают ближе к полуденным часам. С точки зрения повышения общего рекреационного эффекта ивовые культуры обладают рядом преимуществ перед другими зелеными насаждениями. Это обусловлено тем, что их теневые участки располагаются очень близко к воде, создавая эффектную игру света и тени с элементами

и объектами отражения в водной глади, организуя тем самым яркие пейзажные картины.

С математической точки зрения расширенный рекреационный эффект РЭ представляет собой многопараметрическую функцию, геометрическим образом которой в многомерном пространстве ее параметров является гиперповерхность сложной формы. Отобразить ее на плоскости можно только с помощью отдельных двух- или трехмерных сечений. Некоторые, наиболее наглядные из них, изображены на рисунке 6 (а, б, в, г), где представлены связь и взаимовлияние параметров расширенного рекреационного эффекта.

На лепестковых диаграммах линии, соединяющие значения отдельных параметров, образуют замкнутые многоугольники, площадь которых пропорциональна величине расширенного рекреационного эффекта РЭ. Чем больше эта площадь и чем более выпуклым оказывается многоугольник, тем большее значение имеет величина рекреационного эффекта РЭ. Сопоставление диаграмм на рисунке 6 показывает, что наибольшим рекреационным эффектом обладает «Зона ручьев», на второй позиции – «Зона пруда», на третьей и четвертой позициях – «Зона контроля» и «Зона грунтовых вод» соответственно.

Чередование теневых и закрытых участков, светлых и открытых, придает эффекты разнообразия и аттрактивности (привлекательности). Несмотря на то, что тень на водоемах приглушает отражение, она подчеркивает красоту формы кроны с силуэтом, тем самым выделяя ее на фоне других зеленых насаждений включая ивовые культуры. Теневые участки должны быть рядом с водой или на самом водоеме, и не только для комфортного пребывания людей, но и для возможности разведения рыб, а также для игры света и тени с элементами и объектами отражения в водной глади, организуя яркие пейзажные картины (рис. 7).

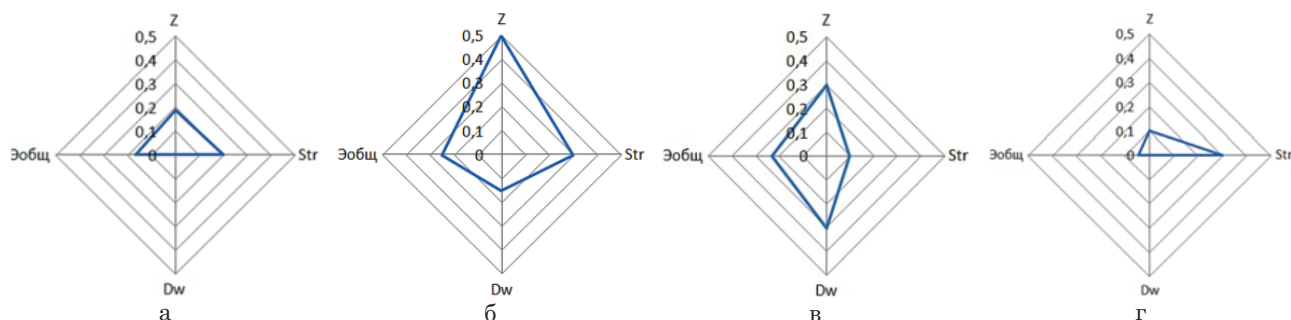


Рис. 6. Лепестковые диаграммы распределения параметров РЭ для зон:

а) контроля; б) зона ручьев; в) зона пруда; г) зона грунтовых вод

Fig. 6. Petal diagrams of the distribution of RE parameters for zones:
a) control, b) stream zone, c) pond zone, d) groundwater zones



Рис. 7. Аппривативность водных объектов с участием тени от зеленых насаждений

Fig. 7. The attractiveness of water bodies with the participation of shade from green spaces

Выводы

Таким образом, при проведении исследований выявлено, что:

1. эффект зависит от высоты прибрежной растительности, близости ее к воде, высоты солнца (то есть часа дня) и длительности прибрежные зеленые насаждения и их тени заметно влияют на общую привативность ландшафтных объектов с водными пространствами;
2. рекреационный осмотр;
3. заметное влияние на уровень привативности оказывают тип и прозрачность конструкции зеленых насаждений, а также степень динамичности самих водных объектов;
4. коэффициент привативности зависит от удельного рекреационного потенциала, времени восприятия и коэффициента сезонности, что позволяет определить наиболее ценные территории для рекреации;

Список использованных источников

1. Веденин Ю.А. Опыт выявления и картирования ландшафтного разнообразия природных комплексов / Сборник статей. Географические проблемы организации отдыха и туризма. Вып. 2. М.: Центр. рекламнo-информ. бюро «Турист», 1975, С. 39-48.
2. Эрингис К.И. Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей / К.И. Эрингис, А.Р. Будрынас // Экология и эстетика ландшафта: (Моногр. Сборник). Вильнюс: Минтис, 1975. С. 107-159
3. Поморов С.Б. Оценка привлекательности ландшафтов / С.Б. Поморов, Д.В. Кантеев // В книге: Белокурихинская лечебно-оздоровительная местность. Барнаул: НИИ ГП, 1997. 154 с.
4. Николаев В.А. Эстетическое восприятие ландшафта // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1999. № 6. С. 10-15.
5. Калашникова О.В. Пейзажеобразующее значение элементов ландшафтной структуры / Проблемы геологии и географии Сибири: Материалы научной конференции // Вестник ТГУ, 2003. № 3. С. 90-93.
6. Дирин Д.А. Пейзажно-эстетические ресурсы горных территорий: оценка, рациональное использование и охрана (На примере Усть-Коксинского района Республики Алтай) Барнаул: АзБука, 2005. 300 с.

5. большую затененность (в 1,5 раза) имеет исследуемая «Зона ручьев», а динамичность потоков повышается на границах ручьев и пруда. «Зона пруда» обладает преимущественным рекреационным эффектом ($\Theta_{\text{общ}}$) перед остальными исследуемыми территориями. Самым значимым расширенным рекреационным эффектом (РЭ) владеет «Зона ручьев» (1,2), что в 1,3-2,7 раза превышает РЭ других территорий;

6. ивовые культуры вида рода *Salix* обладают рядом преимуществ перед другими зелеными насаждениями с точки зрения повышения общего уровня психофизической привлекательности комбинированных водно-растительных ландшафтов, образуя привлекательные пейзажные картины и создавая комфортные условия.

References

1. Vedenin Yu.A. The experience of identifying and mapping the landscape diversity of natural complexes // Geographical problems of recreation and tourism organization. M., 1975. Issue. 2. P. 39-48.
2. Eringis K.I., Budryunas A.R. The essence and methodology of a detailed ecological and aesthetic study of landscapes // Ecology and aesthetics of the landscape: (Monograph. Collection). Vilnius: Mintis, 1975. P. 107-159.
3. Pomorov S.B., Kanteev D.V. Assessment of the attractiveness of landscapes // Belokurikhinskaya health-improving area. Barnaul: Research Institute of GP, 1997. 154 p.
4. Nikolaev V.A. Aesthetic perception of the landscape // Vestn. Moscow. Univ. Ser. 5. Geogr. 1999. No. 6. P. 10-15.
5. Kalashnikova O.V. Landscape-forming significance of landscape structure elements / Problems of geology and geography of Siberia: Materials of scientific conference // Bulletin of TSU, 2003. No. 3. P. 90-93.
6. Dirin D.A. Landscape and aesthetic resources of mountain territories: assessment, rational use and protection. Barnaul: AzBuka, 2005. 260 p.
7. Dirin D.A. Methodology for assessing the recreational potential of water bodies // Geographical foundations and ecological principles of regional environmental management policy: materials of the International Scientific and Practical

7. Дирин Д.А. Методика оценки рекреационного потенциала водных объектов // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 23-27 сент. 2019 г. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН. 2019. С. 828-832.
8. Гуляева Т.С. Аппривативность ландшафтов как ключевая характеристика рекреационного потенциала территории // География и водные ресурсы. 2012. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/apprивативность-landshaf-tov-kak-klyuchevaya-harakteristika-rekreatsionnogo-potentsiala-territorii>
9. Кириллова А.В. Рельеф как фактор эстетической привлекательности ландшафта // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 104-108.
10. Красовская Т.М. Эстетические функции ландшафтов: методические приемы оценок и сохранения // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Вып. 10, № 2. С. 51-55.
11. Корф Е.Д. Критерии оценки туристической аппривативности геологических объектов горной местности // Евразийский Союз Ученых. 2014. № 7-7. С. 149-151.
12. Назаренко О.В. Эстетическая аппривативность водных объектов (родников и водопадов) на юге России: апробация новой методики / О.В. Назаренко, Д.А. Рубан, П.П. Заяц // Географический вестник. 2015. № 3(34). С. 18-25.
13. Андреева В.Л. Оценка аппривативности ресурсов учебно-экологических троп // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 94-104.
14. Часовский В.И. Содержание-анализ аппривативности туристско-рекреационных ресурсов российско-белорусского Приграничья / В.И. Часовский, А.К. Нижникова // Современные проблемы сервиса и туризма. 2023. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontent-analiz-apprивативности-turistsko-rekreatsionnyh-resursov-rossiysko-belorusskogo-prigranichya>
15. Сокольская О.Б. Возрождение и адаптация исторических садово-парковых объектов: учебное пособие / О.Б. Сокольская, А.Н. Кузин, В.В. Степанов. Саратов: РАТА, 2009. 254 с. ISBN 978-5-91659-048-7. EDN QNOCBS.
16. Сокольская О.Б. Обоснование восстановления садово-паркового наследия России / О.Б. Сокольская. Издание второе. СПб: Издательство «Лань», 2021. 368 с. ISBN 978-5-8114-7132-4. EDN JOEPWA.
17. Сокольская О.Б. Ландшафтная архитектура. Реставрация и реконструкция объектов / О.Б. Сокольская. Изд. 3-е, СПб: Издательство «Лань», 2023. 204 с. ISBN 978-5-507-47060-0. EDN EJRLRZ.
18. Вергунова А.А. Оценка аппривативности прибрежных объектов ландшафтной архитектуры Саратовской области / А.А. Вергунова, О.Б. Сокольская, П.Н. Проездов // Ландшафтная архитектура и природобустройство: от проекта до экономики – 2022: Материалы международной научно-практической конференции, Саратов, 07-08 апреля 2022 года / Под научной редакцией О.Б. Сокольской и И.Л. Воротникова. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2022. С. 13-22. EDN HERSPG.
- Conference, Irkutsk, September 23-27. 2019 Irkutsk, 2019. P. 828-832.
8. Gulyaeva T.S. Attractiveness of landscapes as a key characteristic of the recreational potential of the territory // Geography and water resources. 2012. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/attraktivnost-landshaf-tov-kak-klyuchevaya-harakteristika-rekreatsionnogo-potentsiala-territorii>.
9. Kirillova A.V. Relief as a factor of aesthetic attractiveness of the landscape // Bulletin of the Udmurt University. Ser. Biology. Earth Sciences. 2012. No. 2. pp. 104-108. (In Russ.).
10. Krasovskaya T.M. Aesthetic functions of landscapes: methodological methods of assessment and conservation // Geopolitics and ecogeodynamics of regions. 2014. Issue 10, No. 2. P. 51-55.
11. Korf E.D. Criteria for assessing the tourist attractiveness of geological objects in mountainous areas // Eurasian Union of Scientists. 2014. No. 7-7. P. 149-151.
12. Nazarenko O.V., Ruban D.A., Zayats P.P. Aesthetic attractiveness of water bodies (springs and waterfalls) in the south of Russia: approbation of a new technique // Geographical Bulletin. 2015. No. 3(34). P. 18-25.
13. Andreeva V.L. Assessment of the attractiveness of educational and ecological trails resources // Trudy BSTU. Ser. 1, Forest management, nature management and reworking. renewable resources. 2022. No. 2 (258). P. 94-104.
14. Chasovsky V.I., Nizhnikova A.K. Content-analysis of the attractiveness of tourist and recreational resources of the Russian-Belarusian border area // Modern problems of service and tourism. 2023. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontent-analiz-apprивативности-turistsko-rekreatsionnyh-resursov-rossiysko-belorusskogo-prigranichya>.
15. Sokolskaya O.B. Revival and adaptation of historical garden and park objects: a textbook / O.B. Sokolskaya, A.N. Kuzin, V.V. Stepanov; O.B. Sokolskaya, A.N. Kuzin, V.V. Stepanov. Saratov: RATA, 2009. 254 p. (Higher professional education). ISBN 978-5-91659-048-7. EDN QNOCBS.
16. Sokolskaya O.B. Justification for the restoration of the garden and park heritage of Russia / O.B. Sokolskaya. The second edition is stereotypical. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2021. 368 p. ISBN 978-5-8114-7132-4. EDN JOEPWA.
17. Sokolskaya O.B. Landscape architecture. Restoration and reconstruction of objects / O.B. Sokolskaya. 3rd, erased.. St. Petersburg: La Publishing House, 2023. 204 p. ISBN 978-5-507-47060-0. EDN EJRLRZ.
18. Vergunova A.A., Sokolskaya O.B., Proezd P.N. 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, 07-08 April 2022 / Under the scientific editorship of O.B. Sokolskaya and I.L. Vorotnikov. Saratov: LLC "Center for Social agroinnovations of the SSAU", 2022. P. 13-22. EDN HERSPG.

Об авторах

Анастасия Аркадьевна Вергунова, аспирант кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», магистр ландшафтной архитектуры; <https://orcid.org/0000-0002-0200-4721>; aelestel@mail.ru

Ольга Борисовна Сокольская д-р. с.-х. наук, профессор кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»; <https://orcid.org/0000-0003-1723-1289>; sokolskaya.olg@yandex.ru

Пётр Николаевич Проездов, д-р. с.-х. наук, профессор кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»; <https://orcid.org/0000-0001-7931-7980>; toxa_19@mail.ru

Александр Владимирович Розанов, канд. ф.-мат. наук, доцент кафедры «Цифровое управление процессами в АПК»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2144-4255>; arosanov@yandex.ru

About the authors

Anastasia A. Vergunova, Postgraduate student of the department of forestry and landscape construction, master of landscape architecture; <https://orcid.org/0000-0002-0200-4721>; aelestel@mail.ru

Olga B. Sokolskaya, DSc (Agro), professor of the department of forestry and landscape construction; <https://orcid.org/0000-0003-1723-1289>; sokolskaya.olg@yandex.ru

Pyotr N. Proezdov, DSc (Agro), professor of the department of forestry and landscape construction; <https://orcid.org/0000-0001-7931-7980>; toxa_19@mail.ru

Alexander V. Rozanov, CSc (Phys-Math), associate professor of the department "Digital Processes Management in AIC", <https://orcid.org/0000-0002-2144-4255>; arosanov@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Вергунова А.А., Сокольская О.Б., Проездов П.Н., 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 / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 02.08.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.01.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.01.2025

Vergunova A.A., Sokolskaya O.B., Proezdov P.N., Rozanov A.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-129-136>

УДК 630*181.28:712(470.630)



ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ СЕЯНЦЕВ ДРЕВЕСНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ РОДА *PINUS* L. В СТАВРОПОЛЬСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ

Т.В. Неженцева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49, Россия

Аннотация. Деревья и кустарники рода Сосна (*Pinus* L.) представляют большую ценность для озеленения городской среды Ставропольского края. Пополнить ассортимент можно путем введения в культуру адаптированных видов. Объектом исследований являлись семена и сеянцы хвойных растений рода *Pinus* L. Цель исследований – изучить особенности семенного размножения, сезонного роста и развития сеянцев 17 таксонов в условиях Ставропольской возвышенности. Уточнение видовой принадлежности проводили с использованием справочника Д.Л. Матюхина (2021), лабораторную всхожесть определяли по методике М.В. Рогозина (2013), фенологические фазы сеянцев фиксировали с помощью рекомендаций Г.И. Редько (1983). Лабораторную всхожесть выше 75% показали семена 3 таксонов; всхожесть 50-75% – 3; всхожесть 25-50% – 4; менее 25% – 6 таксонов. В полевых условиях появление всходов отмечено в I-II декадах мая у 14 таксонов. Переход в состояние покоя сеянцев 1-го года жизни фиксировался во II декаде сентября. Начало вегетации у сеянцев 2-го и 3-го лет жизни отмечено во II декаде апреля, переход в стадию покоя – в III декаде сентября. Сеянцы 3-го года жизни в зависимости от вида имели высоту от 10,0 до 25,0 см, длину корней от 12,5 до 47,0 см, годичный прирост от 3,0 до 8,5 см. В течение вегетационного периода сеянцы последовательно прошли все фазы сезонного развития. Своевременно были проведены необходимые агротехнические мероприятия. В результате проведенных исследований получены жизнеспособные сеянцы 14 видов и форм.

Ключевые слова: сосна, *Pinus* L., интродукция растений, дендрологическая коллекция, семенное размножение, сеянцы, биометрические параметры

Формат цитирования: Неженцева Т.В. Особенности роста и развития сеянцев древесных интродуцентов рода *Pinus* L. в Ставропольском ботаническом саду // Природообустройство. 2025. № 2. С. 129-136. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-129-136>

Scientific article

FEATURES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF WOODY INTRODUCENTS OF THE GENUS *PINUS* L. IN THE STAVROPOL BOTANICAL GARDEN

T.V. Nezhentseva

Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center", 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky district, Mikhailovsk, st. Nikonova, 49, Russia

Abstract. Trees and shrubs of the genus Pine (*Pinus* L.) are of great value for landscaping the urban environment of the Stavropol region. The assortment can be replenished by introducing adapted species. The object of the study was seeds and seedlings of coniferous plants of the genus *Pinus* L. The purpose of the research is to study the characteristics of seed propagation, seasonal growth and development of seedlings of 17 taxa in the conditions of the Stavropol Upland. Specification of species was carried out using the reference book by D.L. Matyukhin (2021), laboratory germination was determined according to the method of M.V. Rogozina (2013); phenological phases of seedlings were recorded using the recommendations of G.I. Redko (1983). Laboratory germination above 75% was shown by seeds of 3 taxa; germination rate (50-75%) – 3; germination rate (25-50%) – 4; less than 25% – 6 taxa. In field conditions, the emergence of seedlings was noted in the 1st-2nd decade of May in 14 taxa. The transition to a dormant state of seedlings of the 1st year of life was recorded in the second decade of September. The beginning of the growing season for seedlings of the 2nd and 3rd year of life was noted in the 2nd decade of April, the transition to the dormant stage in the 3rd decade of September. Seedlings of the 3rd year of life,

depending on the species, had a height from 10.0 to 25.0 cm; root length from 12.5 to 47.0 cm; annual growth from 3.0 to 8.5 cm. During the growing season, the seedlings successively went through all phases of seasonal development. The necessary agro technical measures were carried out in a timely manner. As a result of the research, viable seedlings of 14 species and forms were obtained.

Keywords: pine, *Pinus* L., plant introduction, dendrological collection, seed propagation, seedlings, biometric parameters

Format of citation: Nezhentseva T.V. Features of growth and development of seedlings of woody introducents of the genus *Pinus* L. in the Stavropol botanical garden // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 129-136. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-129-136>

Введение. Представители рода Сосна (*Pinus* L.) произрастают по всему Северному полушарию. Общее количество видов (в зависимости от современных сводок) варьирует от 105-107 [1] до 132 видов [2]. Интродуцировано более 50 видов, из них в России – около 30 видов и форм [3]. Хвойные растения рода Сосна (*Pinus* L.) представляют собой большую ценность для озеленения городской среды Ставропольского края. Деревья и кустарники отличаются высокой декоративностью, устойчивостью в городских условиях, долговечностью и часто используются для создания аллей, живых изгородей, одиночных и групповых посадок. В любое время года растущие в садах и парках хвойные растения создают эффектные живописные композиции. В настоящее время в озеленении городов и населенных пунктов региона широко распространены три вида сосны: *Pinus mugo* Turra., *Pinus pallasiana* D. Don, *Pinus sylvestris* L. и их садовые формы. Ассортимент видов можно значительно расширить путем изучения и введения в культуру высокодекоративных и устойчивых интродуцентов. В районе г. Ставрополя, находящегося в центральной части Северного Кавказа, проходит естественная граница лесостепной и степной зон. Природно-климатические условия благоприятны для успешного роста и развития большинства хвойных растений умеренной и частично северной и субтропической зон Земного шара [4]. Изучение особенностей роста и развития хвойных интродуцентов из различных географических регионов и введение их в культуру весьма актуальны.

В Ставропольском ботаническом саду проводится работа по изучению биологии и приемов возделывания декоративных хвойных растений в новых условиях произрастания [5]. В ходе исследований интродукционных возможностей видов необходимо учитывать особенности почвы, температуру, влажность, а также их биоэкологические особенности. Исследования в этом направлении способствуют сохранению общего генфонда растений и расширению ассортимента видами, адаптированными к новым условиям выращивания [6, 7].

Семенной способ размножения используют для большинства видов сосен. Результаты зависят от многих факторов, и прежде всего – от качества семян, их жизнеспособности и всхожести [8]. На прорастание семян могут влиять условия, в ходе которых они формировались на материнском растении [9]. Семена большинства видов рода Сосна (*Pinus* L.) способны прорасти без предпосевной подготовки, но под влиянием кратковременной холодной стратификации всходы появляются быстрее.

Цель исследований: изучить особенности семенного размножения, сезонного роста и развития сеянцев 17 таксонов рода *Pinus* L. в условиях Ставропольской возвышенности.

Материалы и методы исследований. Объектом первичного интродукционного исследования служили семена и сеянцы 17 видов и форм хвойных растений рода *Pinus*, выращенные на научно-производственном питомнике Ставропольского ботанического сада. Исследования проводились в период 2021-2023 гг.

Ставропольский ботанический сад расположен у западной окраины плакора Ставропольских высот на высоте 620-640 м над уровнем моря (Северный Кавказ, Центральное Предкавказье). Рельеф территории ботанического сада – равнинный, с небольшим уклоном (1-2°) в направлении с юга на север. Климат района исследований можно охарактеризовать как умеренно континентальный полусухой с неустойчивым увлажнением [10]. Осадков выпадает 500-600 мм в год, из них в период активной вегетации – 350-400 мм. Зима умеренно мягкая, средняя месячная температура января составляет –3,5-4,5°С, абсолютно минимальная –32,0°С. Высота снежного покрова составляет 10-12 см. Продолжительность безморозного периода – 180-190 дней. Лето нежаркое, средняя месячная температура июля – +20,0-22,0°С, максимальная температура достигает +40,0-42,0°С. Число дней с суховеями – 50-60. Следует отметить тенденцию изменения климата последнего десятилетия в сторону потепления и повышения континентальности [11]. Значительная часть

Ставропольских высот (в том числе территории ботанического сада) занята черноземами, среди которых преобладают черноземы мицелярно-карбонатные обыкновенные, типичные и выщелоченные [12]. В фитоценоотическом отношении территория района исследований представляет собой типичную лесостепь.

Уточнение видовой принадлежности выполняли с использованием источников литературы [13]. Таксономический состав приводится по системе классификации рода Little&Critchfield [14]. Определение всхожести семян проводилось в лабораторных условиях. Семена каждого образца в количестве 100 шт. помещались в чашки Петри на влажные бумажные фильтры. Проращивание проводилось на свету, при температуре +20-25 °С. Всхожесть определялась как выраженное в процентах число семян, давших при проращивании в двухнедельный срок нормально развитые проростки [15].

Для изучения особенностей развития семян без предварительной стратификации перед посевом в грунт, в целях профилактики микозной инфекции, обрабатывались водным раствором перманганата калия (KMnO₄) в концентрации 0,5%, продолжительность обработки составляла 4 ч. Просушенные на воздухе до состояния сыпучести, семена опудривались универсальным системным фунгицидом (Фундазол, с.п. 6 г на 1 кг семян) [16]. Посев осуществлялся в подготовленные открытые гряды с внесенным торфом на участке, защищенном от ветра. Глубина заделки в зависимости от размеров семян варьировала от 2,0 до 5,0 см. В качестве мульчи использовались увлажненные древесные опилки. Посев проводился в сжатые сроки, в I декаде апреля. Для защиты от неблагоприятных погодных условий, а также для предотвращения повреждения семян птицами гряды укрывались нетканым материалом. В течение вегетационного периода проводилась обработка препаратами: биофунгицидом Алирин Б, кишечно-контактным инсектицидом Циперметрин; биофунгицидом Глиокладин, фунгицидом локально-системного действия Ордан, фунгицидом Топаз. Для борьбы с медведкой применялся препарат Медветокс. В мае нетканое полотно было заменено на щиты, пропускающие 50% солнечного света. В первые годы жизни сеянцы необходимо притенять, потому что прямые солнечные лучи могут вызвать перегрев почвы и ожоги молодых неокрепших растений. В течение вегетационного периода для поддержания почвенной влаги осуществлялся регулярный полив. Неглубокое (чтобы не повредить корни, расположенные

в поверхностном слое почвы) рыхление способствовало улучшению аэрации почвы. Проводилось также своевременное удаление сорняков. Подкормки выполнялись дважды в вегетационный период: в апреле – азотными удобрениями (аммиачная селитра), способствующими увеличению линейного роста; в июне – азотно-фосфорно-калийными удобрениями (нитроаммофоска). Для сохранности сеянцев в зимний период осуществлялось укрытие гряд сосновым лапником.

Фенологические фазы сеянцев фиксировались с использованием предложенных методик Г.И. Редько. Отмечено 7 фаз роста и развития сеянцев: I – прорастание (от посева до появления всходов), заканчивающееся линейным ростом зародышевого корешка); II – появление всходов; III – разворачивание семядолей; IV – появление почки зачаточного побега; V – разворачивание хвои; VI – рост эпикотиальной части; VII – переход в состояние покоя [17]. Для измерения биометрических параметров (высота растений, длина корней, прирост) были отобраны сеянцы 6 таксонов в количестве по 10 шт.

Результаты и их обсуждение. Анализ таксономического состава позволяет целенаправленно привлекать к изучению ценные виды. При выборе исходного материала для интродукции существенное значение имеет знание климата района, откуда поступили виды [18].

Изучаемые виды имеют различное географическое происхождение и относятся к 2 секциям, 6 подсекциям.

Семя хвойных растений состоит из тонкой, но твердой семенной кожуры, эндосперма и крупного зародыша. Семена разнообразны по форме, размеру, окраске, с длинным крылом и бескрылые [19]. Размеры являются относительно постоянным признаком вида: крупные – от 0,8 до 1,3 см (*Pinus wallichiana* Wall., *P. armandii* Franch., *P. albicaulis* Engelm., *P. torreyana* Parry); мельче – от 0,3 до 0,5 см (*P. mugo* 'Mugus', *P. sylvestris* L. var. *Mongolica*). Лабораторная всхожесть семян изучаемых таксонов варьирует от 0 до 100%. Наибольшая лабораторная всхожесть (>75%) отмечена у *Pinus mugo* 'Mugus' (81), *P. nigra* (77), *P. pallasiana* (79); всхожесть 50-75% зафиксирована у *P. nigra* var. *salzmannii* (59), *P. sylvestris* var. *mongolica* (52), *P. wallichiana* (65); всхожесть 25-50% показали *Pinus tabulaeformis* (25), *P. thunbergii* (47), *P. contorta* ssp. *latifolia* (43), *P. contorta* ssp. *murrayana* (49); менее 25% отмечено у *Pinus albicaulis* (20), *P. armandii* (5), *P. massoniana* (4), *P. monticola* 'WA' (9), *P. taeda* (19), *P. strobus* (2); у *P. torreyana* нет всходов.

Таблица 1. Таксономический состав и географическое происхождение
исследуемых таксонов рода *Pinus* L.Table 1. Taxonomic composition and geographical origin of the studied taxa of the genus *Pinus* L.

Подрод Subgenus	Секция Section	Подсекция Subsection	Виды Species	Родина Homeland
STROBUS Lemm.	Strobis Little&Crichfield	Cembrae Loud.	<i>P. albicaulis</i> Engelm.	Северная Америка North America
		Strobi Loud.	<i>P. armandii</i> Franch.	Китай / China
			<i>P. strobus</i> L.	Северная Америка North America
			<i>P. monticola</i> Dougl. & D. Don	Северная Америка North America
			<i>P. wallichiana</i> A.B. Jacks.	Восточная Азия Eastern Asia
PINUS Little&Crichfield	Pinus Little&Crichfield	Sylvestris Loud.	<i>P. mugo</i> Turra	Европа / Europe
			<i>P. salzmannii</i> Dun.	Средиземноморье Mediterranean
			<i>P. massoniana</i> Lamb.	Китай / China
			<i>P. sylvestris</i> L.	Европа, Сибирь, Казахстан, Монголия Europe, Siberia, Kazakhstan, Mongolia
			<i>P. pallasiana</i> D. Don	Крым, Турция, о. Крит, о. Кипр Crimea, Turkey, island of Crete, island of Cyprus
			<i>P. thunbergii</i> Parl	Япония / Japan
			<i>P. nigra</i> Arn.	Европа / Europe
			<i>P. tabulaeformis</i> Carr.	Китай / China
		Austres Loud.	<i>P. taeda</i> L.	Северная Америка North America
		Sabinianae Loud.	<i>P. torreyana</i> Parry ex Carr.	Северная Америка North America
		Contortae Little&Crichfield	<i>P. contorta</i> Dougl.	Северная Америка North America

При посеве в грунт появление всходов в грунте (II) отмечено в I декаде мая – *P. nigra*; во II декаде мая: *P. mugo* 'Mugus', *P. nigra* var. *salzmannii*, *P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. tabulaeformis*, *P. contorta* ssp. *latifolia*, *P. contorta* ssp. *murrayana*, *P. thunbergii*, *P. pallasiana*; в III декаде мая: *P. armandii*, *P. strobus* 'WC', *P. wallichiana*, *P. taeda*, *P. massoniana*. Массовые всходы отмечены у 6 таксонов: *P. armandii*, *P. mugo* 'Mugus', *P. thunbergii*, *P. nigra*, *P. pallasiana*, *P. sylvestris* var. *mongolica*. Не взойшли семена трех видов: *Pinus albicaulis*, *P. monticola*, *P. torreyana*. Развертывание семядолей (III) фиксировалось конце мая – начале июня. Количество семядолей является различным. Так, у *P. sylvestris* var. *mongolica* – 4-6 семядолей длиной до 20 мм, у *P. pallasiana* и *P. nigra* – 7-9 семядолей длиной 30 мм. В это же время идет интенсивный рост главного корня. Во II декаде июня у изучаемых видов в месте прикрепления

семядолей к стволу отмечено появление почки зачаточного побега (IV). В фазе разворачивания хвои (V) формируются зеленые хвоинки, которые незначительно длиннее семядолей. Одновременно с этой фазой происходит формирование боковых корней I-го порядка. Рост эпикотильной части (VI) отмечен в III декаде июня – I декаде июля. Растущий ствол приподнимает сформировавшуюся хвою над уровнем прикрепления семядолей. Переход в состояние покоя (VII) у изучаемых видов отмечен во II декаде сентября. К концу первого вегетационного периода сеянцы имели здоровую разветвленную корневую систему, ровные стволы с верхушечной и боковыми почками. В первый год жизни наблюдалась гибель части сеянцев от повреждений насекомым-вредителем медведкой обыкновенной (*Gryllotalpa gryllotalpa*), а также были отмечены поражения фузариозом (грибы рода *Fusarium*).

Весной 2022 г. у перезимовавших сеянцев не отмечено выпадов и повреждений. Сеянцы имеют высокую сохранность. Рост верхушечных и боковых почек у сеянцев 2-го года жизни отмечался во II декаде апреля: *Pinus armandii*, *P. contorta* ssp. *latifolia*, *P. contorta* ssp. *murrayana*, *P. tabulaeformis*, *P. nigra*, *P. nigra* var. *salzmannii*; в III декаде апреля – остальные таксоны. Температура почвы в это время выше +10 °С. Верхушечная почка тронулась в рост немного раньше боковых. Линейный рост стволика отмечался в III декаде апреля. Одновременно с удлинением линейного побега наблюдалось его утолщение. Период активного роста сеянца продолжался до конца июня. Во II-III декадах июля было отмечено формирование верхушечной почки. Переход в состояние относительного покоя надземной части отмечен в III декаде сентября. Корневая система одновременно развивалась в длину, в глубину и по поверхности почвы. Рост стержневого и боковых корней в длину сопровождался образованием новых корневых окончаний последующих порядков с заметно развитой микоризой (рис. 1, 2).

В течение следующего, 3-го года жизни, следует отметить дальнейший рост главного и боковых побегов, корневая система стала более разветвленной за счет появления корневых окончаний последующих порядков. Этот год по гидротермическим условиям можно охарактеризовать как неблагоприятный. Минимальное количество выпавших осадков в августе составило 0,7 мм (по многолетним данным – 53,0 мм), в сентябре – 7,0 мм (по многолетним данным,

54,0 мм). Низкая относительная влажность воздуха, высокая солнечная радиация – эти факторы неблагоприятно сказались на росте сеянцев. В результате в конце 3-го года жизни отмечены единичные выпады растений у 4 образцов: *Pinus armandii*, *P. strobus* 'WC', *P. thunbergii*, *P. wallichiana*. (рис. 3, 4).

В ходе исследований проводилось измерение основных биометрических параметров сеянцев 6 таксонов 2-го и 3-го лет жизни (табл. 2).

Сеянцы 2-го года жизни (2022 г.) имели развитую корневую систему. У видов *Pinus mugo* 'Mugus', *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *P. thunbergii*, *P. nigra*, *Pinus pallasiana* корневая система превышает длину наземной части.

Высота сеянцев 2-го года жизни составила от 5,5 до 9,0 см (*Pinus mugo* 'Mugus', *P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. thunbergii*), от 14,0 до 18,5 см (*P. armandii*, *P. nigra*, *P. pallasiana*). Длина корней – от 10,0 до 13,5 см (*P. thunbergii*, *P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. armandii*), от 17,5 до 32,0 см (*P. mugo* 'Mugus', *P. nigra*, *P. pallasiana*). Диаметр стволика корневой шейки у сеянцев 2-го года жизни составил от 0,15-0,2 см (*P. mugo* 'Mugus', *P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. thunbergii*) до 0,3-0,4 см (*P. armandii*, *P. nigra*, *P. pallasiana*). Годичный прирост у сеянцев 2-го года жизни – от 1,5 до 5,0 см (*Pinus mugo* 'Mugus' (1,5), *P. thunbergii* (2,0), *P. armandii* (3,0), *P. sylvestris* var. *mongolica* (3,0), *P. nigra* (4,0), *P. pallasiana* (5,0)).

Высота сеянцев 3-го года жизни составила от 10,0 (*Pinus mugo* 'Mugus') до 25,0 см (*P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. thunbergii*, *P. armandii*,



Рис. 1. Сеянец *Pinus armandii* 2-го года жизни

Fig. 1. Seedling *Pinus armandii* of the 2nd year of life



Рис. 2. Сеянец *Pinus sylvestris* var. *mongolica* 2-го года жизни

Fig. 2. Seedling *Pinus sylvestris* var. *mongolica* of the 2nd year of life

Рис. 3. Сеянец *Pinus armandii*
3-го года жизниFig. 3. Seedling *Pinus armandii*
of the 3rd year of lifeРис. 4. Сеянец *Pinus sylvestris* var. *mongolica*
3-го года жизниFig. 4. Seedling *Pinus sylvestris* var. *mongolica*
of the 3rd year of lifeТаблица 2. Биометрические параметры сеянцев рода *Pinus* L.Table 2. Biometric parameters of genus *Pinus* L. seedlings

№ п/п	Вид, форма	Высота сеянца, см Seedling height, cm		Длина корней, см Roots length, cm		Прирост, см Growth, cm	
		2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
1	<i>Pinus armandii</i> Franch.	14,0±0,2	23,0±0,3	13,5±0,3	17,0±0,2	3,0±0,05	3,5±0,05
2	<i>P. mugo</i> 'Mugus'	5,5±0,1	10,0±0,3	17,5±0,3	12,5±0,2	1,5±0,1	3,5±0,05
3	<i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	8,5±0,2	25,0±0,4	12,0±0,1	34,5±0,5	3,0±0,2	5,5±0,1
4	<i>P. thunbergii</i> Parl.	9,0±0,2	24,0±0,2	10,0±0,2	15,0±0,2	2,0±0,1	7,0±0,1
5	<i>P. nigra</i> J.F. Arnold	16,5±0,3	22,0±0,4	27,0±0,4	47,0±0,1	4,0±0,05	7,0±0,05
6	<i>P. pallasiana</i> Lamb.	18,5±0,2	24,5±0,3	32,0±0,1	35,0±0,2	5,5±0,2	4,5±0,05

P. nigra, *P. pallasiana*). Длина корней – от 12,5 до 17,0 см (*P. mugo* 'Mugus', *P. thunbergii*, *P. armandii*); от 34,5 до 47,0 см (*P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. nigra*, *P. pallasiana*). Диаметр стволика у корневой шейки у сеянцев 3-го года жизни – от 0,3-0,4 (*P. armandii* Franch., *P. mugo* 'Mugus', *P. thunbergii*) до 0,5-0,6 см (*P. nigra*, *P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. pallasiana*). Годичный прирост у сеянцев 3-го года жизни составил от 3,0-4,5 (*P. armandii*, *P. mugo* 'Mugus', *P. pallasiana*) до 5,0-8,5 см (*P. sylvestris* var. *mongolica*, *P. thunbergii*, *P. nigra*).

К концу вегетационного периода сеянцы 3-го года жизни имели хорошо развитую корневую систему и наземную часть с характерным ветвлением. Следует отметить, что стержневой корень у сеянцев практически не выражен, а четко выделяются несколько боковых, с хорошо развитой микоризой (рис. 5).

Сеянцы изучаемых таксонов 1-го года жизни прошли фазы от прорастания семян

Рис. 5. Микориза на корнях *Pinus thunbergii*Fig. 5. Mycorrhiza on the roots of *Pinus thunbergii*

до перехода в состояние покоя. В последующие 2-й и 3-й годы жизни растения также последовательно прошли фазы развития, что является важным показателем для прогноза перспективности видов в условиях Ставропольской возвышенности. В ходе роста и развития у сеянцев сформировались главный и боковые побеги с характерным ветвлением, а также разветвленная корневая система с образовавшейся на ней микоризой. Поскольку в этот период сеянцы чувствительны к недостатку атмосферной и почвенной влаги, перегреву почвенного слоя, резкому колебанию температур, повреждению вредителями и микозными заболеваниями, для их сохранности необходимо своевременное проведение агротехнических мероприятий. В результате проведенной работы полученные сеянцы планируется высадить в школьное отделение питомника, а затем – на постоянное место в экспозиции дендрологической коллекции голосеменных растений ботанического сада, где изучение их адаптационных возможностей будет продолжено.

Выводы

1. Результаты семенного размножения хвойных интродуцентов зависят главным образом от качества семян. В ходе исследований получены показатели лабораторной всхожести семян

17 таксонов рода *Pinus* L. Всхожесть выше 75% показали 3 таксона, всхожесть (50-75%) – 3 таксона, всхожесть (25-50%) – 4 таксона, менее 25% – 6 таксонов.

2. В полевых условиях получены всходы 14 таксонов. Появление всходов в грунте отмечено в I-II декадах мая. Переход в состояние покоя сеянцев 1-го года жизни фиксировался во II декаде сентября. Сеянцы 2-го и 3-го лет жизни начинали вегетировать во II декаде апреля, а перешли в стадию покоя в III декаде сентября. Анализ фенологических особенностей интродуцентов в первые три года жизни в условиях Ставропольского ботанического сада показал, что растения за вегетационный период проходят все фазы развития, что является важным показателем для предварительного прогноза перспективности изучаемых видов.

3. Биометрические показатели характеризуют рост и развитие сеянцев хвойных интродуцентов. Сеянцы 2-го года имели высоту от 5,5 до 18,5 см, длину корней от 10,0 до 32,0 см. Сеянцы 3-го года жизни имели высоту от 10,0 до 25,0 см, длину корней от 12,5 до 47,0 см. В дальнейшем изучение адаптационных возможностей полученных видов будет продолжено в экспозиции дендрологической коллекции голосеменных растений ботанического сада.

Список использованных источников

1. Истратова О.Т. Род Сосна *Pinus* L. Итоги и перспективы интродукции древесных растений в России. Научное издание. Вып. 2. / О.Т. Истратова, Ю.Н. Карпун. Сочи. 1994. 136 с.
2. Farjon A. World checklist and bibliography of Conifers. Kew. Royal Botanic Gardens. 2001. 309 с.
3. Александрова М.С. Хвойные растения в вашем саду. М.: ЗАО «Фитон+», 2000. 224 с. ISBN 5-93457-009-9
4. Скрипчинский Вл.В. Ставропольский ботанический сад / Материалы по изучению. Ставропольского края. Вып. 12-13. Став. кн. изд-во 1971. С. 357-367.
5. Каталог культивируемых древесных растений открытого грунта Ставропольского ботанического сада им. В.В. Скрипчинского. Ставрополь.: ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». 2020. 15 с.
6. Фирсов Г.А. Деревья и кустарники ботанического сада Петра Великого. Том 1. Голосеменные растения / Г.А. Фирсов, В.Т. Ярмишко. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. 206 с.
7. Кищенко И.Т. Сезонное развитие и перспективность интродуцированных видов *Pinus* L. в таёжной зоне (Карелия) // Вестник Пермского университета. Вып. 3. 2021. С. 149-157.
8. Карпун Ю.Н. Основы интродукции растений // Hortus botanicus. 2004. Т. 2. С. 17-32.
9. Prochazka S., Sebanek J., Krekule J., Machackova I. Fyziologie rostlin. Praha. Academia. 1998. 484 с.
10. Агроклиматические ресурсы Ставропольского края. Справочник. Л.: Гидрометеиздат. 1971. 240 с.

References

1. Istratova O.T., Karpun Yu.N. Genus Pine *Pinus* L. Results and Prospects of Introduction of Woody Plants in Russia. Issue 2. Sochi. 1994. 136 p.
2. Farjon A. World checklist and bibliography of Conifers. Kew. Royal Botanic Gardens. 2001. 309 p.
3. Aleksandrova M.S. Conifers in your garden. M.: ZAO Fiton+. 2000. 224 p.
4. Skripchinsky V.I.V. Stavropol Botanical Garden / Materials on the study. Stavropol Territory. Issue. 12-13. Stavropol Book Publishing House, 1971. P. 357-367.
5. Catalog of cultivated woody plants of open ground of the Stavropol Botanical Garden named after V.V. Skripchinsky. Stavropol. FGBNU "North Caucasian Federal Scientific Center". 2020. 15 p.
6. Firsov G.A., Yarmishko V.T. Trees and shrubs of the Peter the Great Botanical Garden. Vol. 1. Gymnosperms. SPb. ETU "LETI", 2023. 206 p.
7. Kishchenko I.T. Seasonal development and prospects of introduced *Pinus* L. species in the taiga zone (Karelia). Bulletin of Perm University. Issue 3. 2021. P. 149-157.
8. Karpun Yu.N. Basics of plant introduction. Hortus botanicus. T. 2. 2004. 17-32 p.
9. Prochazka S., Sebanek J., Krekule J., Machackova I. Fyziologie rostlin. Praha. Academia. 1998. 484 p.
10. Agroclimatic resources of Stavropol Region. Leningrad. Gidrometeoizdat. 1971. 240 p.
11. Badakhova G.H., Knutas A.V. Stavropol Region: Modern climatic conditions. Stavropol: Publishing House

11. Бадахова Г.Х. Ставропольский край: современные климатические условия / Г.Х. Бадахова, А.В. Кнутас. Ставрополь. ГУП СК «Краевые сети связи». 2007. 272 с. ISBN 978-5-91228-012-2
12. Система ведения сельского хозяйства Ставропольского края. Ставрополь / Под ред. акад. А.А. Никонова. Ставрополь: Книжное изд-во, 1980. 495 с.
13. Матюхин Д.Л. Виды и формы хвойных, культивируемые в России. Ч. 4. *Pinus L.* / Д.Л. Матюхин, М.В. Симакхин. М.: Изд-во «Товарищество научных изданий КМК», 2021. 267 с.
14. Little E.L., Jr. Subdivisions of the genus *Pinus* (pines) / E.L., Jr. Little W.B. Critchfield. – Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1969. 51 p.
15. Рогозин М.В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания. Монография. Пермь.: Перм.гос.нац.исслед.ун-т. 2013. 200 с.
16. Тюкавина О.Н. Практика повышения посевных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.) / О.Н. Тюкавина, Н.А. Демина // Лесной вестник, Т. 26. № 6. 2022. С. 75-85.
17. Редько Г.И. Биологические основы выращивания сеянцев сосны и ели в питомниках / Г.И. Редько, Д.В. Огиевский, Е.Н. Наквасина, Е.М. Романов. М.: Лесная промышленность. 1983. 64 с.
18. Селекция лесных и декоративных древесных растений: учебник / Под ред. А.П. Царёва. М.: Изд-во МГУЛ, 2013. 516 с. EDN: UIEVDD
19. Николаева М.Г. Справочник по проращиванию покоящихся семян / М.Г. Николаева, М.В. Разумова, В.Н. Гладкова. Л.: Наука. 1985. С. 233-235.
- of the State Unitary Enterprise SK Regional Communication Networks. 2007. 272 p.
12. Agricultural management system of Stavropol Region. Stavropol/ Edited by academician A.A. Nikonov. Stavropol: Book publishing house, 1980. 495p.
13. Matyukhin D.L., Simakhin M.V. Types and forms of conifers cultivated in Russia. Part 4. *Pinus L.M.* Partnership of scientific publications KMK. 2021. 267 p.
14. Little E.L., Jr. Subdivisions of the genus *Pinus* (pines) / E.L., Jr. Little W.B. Critchfield. – Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1969. 51 p.
15. Rogozin M.V. Selection of Scots pine for plantation cultivation. Monograph. Permian. Perm State National Research University 2013. 200 p.
16. Tyukavina O.N., Demina N.A. Practice of improving the sowing qualities of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L.) seeds. *Lesnoy Vestnik* T. 26. № 6. 2022. P. 75-85.
17. Redko G.I., Ogievsky D.V., Nakvasina E.N., Romanov E.M. Biological principles of growing pine and spruce seedlings in nurseries. M. *Lesnaya Promyshlennost*, 1983. 64 p.
18. Breeding of forest and ornamental woody plants: textbook / Ed. A.P. Tsarev. Publishing house of Moscow State University of Forestry, 2013. 516 p.
19. Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. A guide to germinating dormant seeds. Leningrad. Science. 1985. P. 233-235.

Об авторе

Татьяна Викторовна Неженцева, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии; sbsconifers@mail.ru

About the Author

Tatyana V. Nezhtentseva, CSc (Biology), senior researcher of the laboratory of dendrology; sbsconifers@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Неженцева Т.В. выполнила практические и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись. Неженцева Т.В. имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 25.09.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 24.01.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 24.01.2025

Nezhentseva T.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote a manuscript. Nezhentseva T.V. has a copyright to the article and is responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-137-144>
УДК 630*4:574.3:630*181.351



САНИТАРНОЕ И ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СОСНЫ ПИЦУНДСКОЙ (*PINUS BRUTIA* VAR. *PITYUSA* (STEVEN) SILBA) В ДЖАНХОТСКОМ БОРУ

Н.Б. Денисова¹, А.В. Лебедев², С.Н. Волков¹, Д.А. Белов¹, К.А. Козлов¹

¹ Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; 141005 Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, 1, Россия

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

Аннотация. Сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) относится к реликтовым эндемикам черноморского побережья. В настоящее время одним из актуальных вопросов сохранения природных популяций сосны пицундской является изучение устойчивости насаждений к комплексу биотических, абиотических и антропогенных факторов. Цель исследований – оценка санитарного и лесопатологического состояния насаждений в ботаническом памятнике природы «Джанхотский бор» (Краснодарский край). Полевые работы проводились в окрестностях поселка Джанхот Краснодарского края. Для оценки состояния древостоя было заложено 6 временных пробных площадей в сосняке со скумпией в подлеске, в сосняке дубово-грабинниковом и сосняке дубово-иглициевом, на которых учтено 1178 деревьев сосны пицундской. Результаты исследований показали, что лучшим санитарным состоянием сосны пицундской характеризуются сосняки со скумпией в подлеске, где количество усыхающих и погибших деревьев не превышает 2%, причем это деревья, не входящие в первый ярус. В сосняке дубово-грабинниковом состояние сосны ухудшается, количество ослабленных деревьев составляет 54%. Состояние деревьев в сосняке иглициевом удовлетворительное: 46,5% деревьев относится к первой категории состояния (без признаков ослабления), 41,7% – ко второй категории (ослабленные), количество погибших деревьев не превышает 5%. Из ксилофильных жесткокрылых к массовым видам следует отнести короедов рода *Tomicus*, в сосняке со скумпией в подлеске отмечена популяция фисташковой златки (*Carpodis cariosa* Pallas). Для сохранения популяций сосны пицундской на Черноморском побережье России требуется проведение дальнейших исследований, направленных на мониторинг санитарного и лесопатологического состояния насаждений.

Ключевые слова: сосна пицундская, санитарное состояние насаждений, лесопатологическое состояние насаждений, ксилофильные жесткокрылые, Краснодарский край

Формат цитирования: Денисова Н.Б., Лебедев А.В., Волков С.Н., Белов Д.А., Козлов К.А. Санитарное и лесопатологическое состояние сосны пицундской (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) в Джанхотском бору // Природообустройство. 2025. № 2. С. 137-144. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-137-144>

Scientific article

SANITARY AND FOREST PATHOLOGICAL STATE OF PITSUNDSKAYA PINE (*PINUS BRUTIA* VAR. *PITYUSA* (STEVEN) SILBA) IN DZHANKHOT PINE FOREST

N.B. Denisova¹, A.V. Lebedev², S.N. Volkov¹, D.A. Belov¹, K.A. Kozlov¹

¹ Mytishchi Branch of the Bauman Moscow State Technical University (National Research University); 141005 Moscow region, Mytishchi, 1st Institutskaya str., 1. Russia

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

Abstract. Pitsunda pine (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) is a relict endemic of the Black Sea coast. Currently, one of the pressing issues of preserving natural populations of Pitsunda pine is the study of the resistance of stands to a complex of biotic, abiotic and anthropogenic factors. The aim of the study was to assess the sanitary and forest pathological condition of stands in the Dzhankhot Bor botanical natural monument (Krasnodar territory). Field work was carried out in the vicinity of the Dzhankhot settlement in the Krasnodar territory. To assess the condition of the forest stand, 6 temporary trial plots were laid in a pine forest with smoke tree in the undergrowth, in an oak-hornbeam pine forest and an oak-bush pine

forest, where 1178 Pitsunda pine trees were recorded. The results of the study showed that the best sanitary condition of Pitsunda pine is found in pine forests with smoke tree in the undergrowth, where the number of drying and dead trees does not exceed 2%, and these are trees that are not included in the first tier. In the oak-hornbeam pine forest, the condition of the pine is worsening, the number of weakened trees is 54%. The condition of the trees in the needle pine forest is satisfactory – 46.5% of the trees belong to the first category of condition (no signs of weakening) and 41.7% to the second (weakened), the number of dead trees does not exceed 5%. Of the xylophilous beetles, the mass species include bark beetles of the genus *Tomicus*, in the pine forest with smoke tree in the undergrowth, a population of the pistachio borer (*Capnodis cariosa* Pallas) was noted. To preserve the populations of Pitsunda pine on the Black Sea coast of Russia, further research is required to monitor the sanitary and forest pathological condition of the stands.

Keywords: Pitsunda pine, sanitary condition of plantations, forest pathological condition of plantations, xylophilous coleoptera, Krasnodar Territory

Format of citation: Denisova N.B., Lebedev A.V., Volkov S.N., Belov D.A., Kozlov K.A. Sanitary and forest pathology of Pitsunda pine (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) in Dzhankhot forest // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 137-144. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-137-144>

Введение. Сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) занесена в Красную книгу Российской Федерации (категория II – уязвимый вид) [1], а также в региональные красные книги Республики Крым [2] и Краснодарского края [3]. Вид относится к реликтовым эндемикам черноморского побережья [4].

В настоящее время одним из актуальных вопросов сохранения природных популяций сосны пицундской является изучение устойчивости насаждений к комплексу биотических, абиотических и антропогенных факторов. Поскольку естественный ареал (от Абхазии до полуострова Крым) – это литеральная полоса Черного моря, где расположено большое количество курортных зон, то на устойчивость насаждений значительное влияние оказывает рекреационный фактор [5-7].

Другими факторами, приводящими к нарушениям в растительных сообществах сосны пицундской, являются лесные пожары и сильные засухи [8, 9]. Результаты изучения послепожарной динамики сообществ показывают, что происходит активное естественное возобновление эндемичных видов с последующим восстановлением экологической и природоохранной значимости территорий [10]. Антропогенное вмешательство в процессы естественного возобновления горельников снижает возможности реализации биоценологических процессов восстановления лесного покрова [11]. Сосна пицундская характеризуется высокой засухоустойчивостью, но в условиях осеннего (40% от нормы) и весеннего дефицита осадков (87%) происходит групповое отмирание деревьев [12].

Многие участки Черноморского побережья с насаждениями сосны пицундской имеют охранный статус. Здесь расположен государственный природный заповедник «Утриш» (Краснодарский край) [13], Пицундо-Мюссерский

государственный заповедник (Абхазия) [14], государственный природный заповедник «Карадагский» (Республика Крым) [15], ботанический заказник «Новый свет» (Республика Крым) [16], памятник природы «Тиссовая роща» (Краснодарский край) [17] и др.

В 2018 г. в Краснодарском крае создан памятник природы регионального значения «Роща сосны пицундской», охватывающий приморские горы вокруг хутора Джанхот (город-курорт Геленджик, Краснодарский край) [18]. Для этой территории к настоящему времени в литературе имеются ограниченные сведения о естественном возобновлении насаждений, поврежденных лесными пожарами [8], и о флористическом разнообразии [18].

Цель исследований: оценка санитарного и лесопатологического состояния насаждений в ботаническом памятнике природы «Джанхотский бор» (Краснодарский край).

В ходе исследований решались следующие задачи: 1) заложить временные пробные площади в насаждениях основных групп типов леса с участием сосны пицундской; 2) дать фитоценологическую характеристику основных групп типов леса; 3) проанализировать распределение деревьев по категориям санитарного состояния; 4) оценить видовой состав ксилофильных насекомых.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований являлись насаждения сосны пицундской (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) в ботаническом памятнике природы «Джанхотский бор», который в качестве отдельного кластера входит в структуру памятника природы регионального значения «Роща сосны пицундской» и находится на территории Геленджикского лесничества, между селом Дивноморское и устьем реки в Прасковеевской щели (рис). Площадь памятника природы составляет 995,0 га.

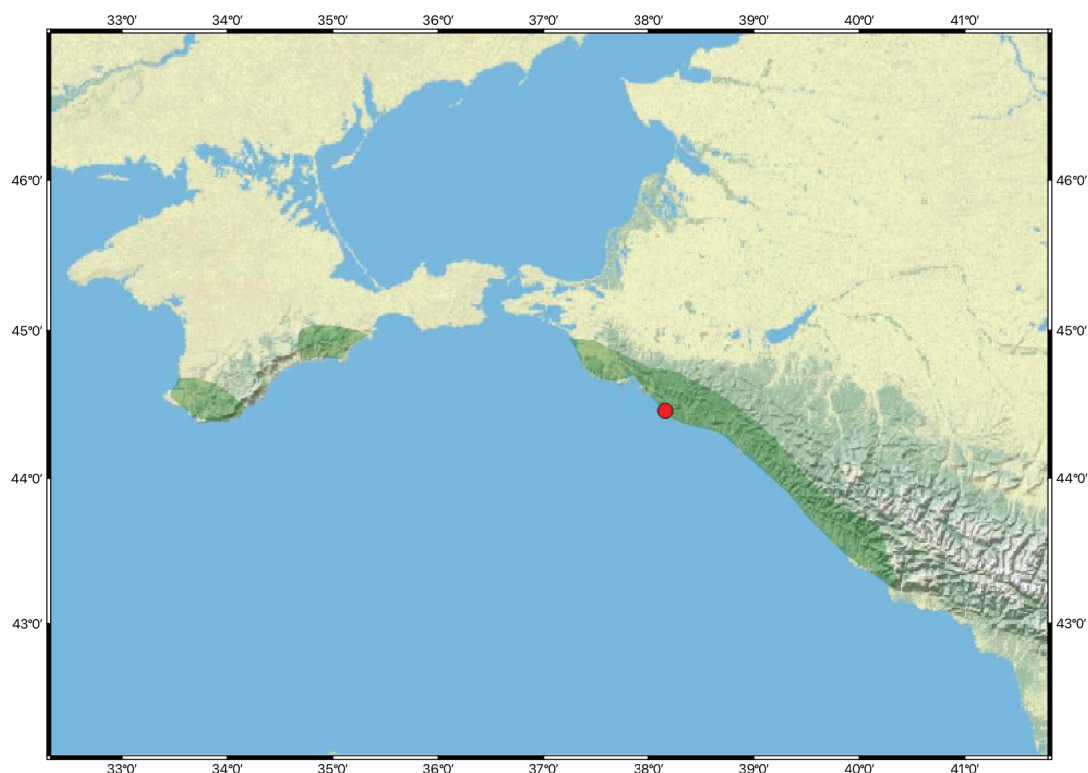


Рис. 1. Расположение ботанического памятника природы «Джанхотский бор» (красная точка) и ареал сосны пицундской (зеленая заливка) по данным EUFORGEN [19]

Fig. 1. Location of the botanical natural monument “Dzhankhot Bor” (red dot) and the range of Pitsunda pine (green fill) according to EUFORGEN [19]

Рельеф – горный (скалистый). Сосна пицундская произрастает на глинистых и известняковых почвах, песчаниках. «Джанхотский бор» – это самое крупное в России местонахождение сосны пицундской, которая образует здесь наиболее разнообразные лесные сообщества. Из всех известных мест ее произрастания в этом урочище она наиболее удаляется от береговой линии Черного моря.

Полевые работы по изучению состояния сосны пицундской были проведены в течение нескольких лет в окрестностях поселка Джанхот Краснодарского края. Для оценки состояния древостоя на территории памятника природы было заложено 6 временных пробных площадей в сосняке со скумпией в подлеске, в сосняке дубово-грабниково-сосновом и сосняке дубово-иглицевом (рис. 2). На пробных площадях проводился сплошной пересчет всех деревьев с диаметром от 8 см, измерялась их высота, определялось состояние деревьев в соответствии со шкалой санитарного состояния деревьев (Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах»): 1 – здоровые (без признаков ослабления); 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – погибшие, в том числе 5а – свежий сухостой, 5б – свежий ветровал, 5в – свежий бурелом, 5г – старый сухостой, 5д – старый

ветровал и 5е – старый бурелом. Средняя категория состояния рассчитывалась как средняя взвешенная величина, для которой находилась стандартная ошибка (приводится в тексте после знака $\pm$). Для изучения ксилофильных насекомых



Рис. 2. Сосна пицундская в ботаническом памятнике природы «Джанхотский бор»

Fig. 2. Pitsunda pine in the botanical natural monument “Dzhankhot Bor”

отбирались модельные деревья из числа погибших (5-я категория санитарного состояния).

Результаты и их обсуждение. Сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) в прибрежной полосе, на береговых обрывах образует чистые насаждения – сосняки крутосклонные. В них встречаются такие кустарники, как скумпия обыкновенная (*Cotinus coggygria* Scop.) и сумах дубильный (*Rhus coriaria* L.). Травостой редкий, состоит из колокольчика крымского (*Campanula sibirica* subsp. *taurica* (Juz.) Fed.), ятрышника обезьянного (*Orchis simia* Lam.), дубровника обыкновенного (*Teucrium chamaedrys* L.), иберийки крымской (*Iberis taurica* DC.), фибики мохнато-плодной (*Fibigia eriocarpa* (DC.) Boiss) и др.

На удаленных от побережья участках сосна пицундская произрастает вместе с дубом, который входит во второй ярус. Исследования по изучению сосны пицундской здесь проходили в таких типах леса, как сосняк дубово-грабинниковый с осоками в травяном покрове и сосняк дубово-иглицевый. Травяной покров представлен лазурником трехлопастным (*Laser trilobum* L.), мордовником шароголовым (*Echinops sphaerocephalus* L.), пыльцеголовником длиннолистным (*Cephalanthera longifolia* L.), коротконожкой перистой (*Brachypodium pinnatum* L.), пиретрумом щитковым (*Tanacetum corymbosum* L.) и др.

На склонах находятся насаждения сосны пицундской со скумпией (*Cotinus coggygria* Scop.) в подлеске. В травяном покрове встречаются девясил мечелистный (*Inula ensifolia* L.), перловник трансильванский (*Melica transsilvanica* Schur), колокольчик Комарова (*Campanula komarovii* Maleev), лазурник трехлопастный (*Laser trilobum* L.), мелиситус меловой (*Melissitus cretaceus* (Bieb.) Latsch.) Из злаков произрастают чий костеровидный (*Achnatherum bromioides* (L.) Beauv), коротконожка перистая (*Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv), трясунка средняя (*Briza media* L.), тимopheевка Микели (*Phleum michelii* All.), сеслерия анатолийская (*Sesleria alba* Sm.), из осок – осока остролистная (*Carex acutiformis* Ehrh.), а также спаржа мутовчатая (*Asparagus verticillatus* L.), аргиролобиум Биберштейна (*Argyrolobium biebersteinii* P.W. Ball), псоралея смолистая (*Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirt.). Следует отметить, что данное насаждение было повреждено лесным пожаром, произошедшим 7 июля 2024 г.

Сводные данные о санитарном состоянии сосны пицундской, полученные при проведении санитарного и лесопатологического обследования на территории Джанхотского бора, приведены в таблице. Всего на 6 временных пробных

площадях учтено 1197 деревьев сосны пицундской. Для всех обследованных насаждений средняя высота деревьев составила 24-25 м, средний диаметр – 26-28 см. Лучшей средней категорией санитарного состояния (СКС = $1,46 \pm 0,03$) характеризуется сосняк со скумпией в подлеске несмотря на пожар 2024 г. Последствия пожара, возможно, скажутся на состоянии сосны в будущем, что требует проведения дальнейшего мониторинга. Доля деревьев 3-5 категорий санитарного состояния в этой группе составила 5,5%. Для сосняка дубово-грабинникового СКС = $1,61 \pm 0,03$ (доля деревьев 3-5 категорий – 6,1%), для сосняка дубово-иглицевого СКС = $1,76 \pm 0,11$ (доля деревьев 3-5 категорий – 11,8%). Во всех группах временных пробных площадей погибшие деревья представлены в основном старым сухостоем (категория г) и старым буреломом (категория 5е).

Из ксилофильных жесткокрылых (*Coleoptera*) следует отметить короедов рода *Tomicus*, ходы которых имеются на всех обследованных погибших деревьях временных пробных площадей, а также представителей семейства *Buprestidae* (рис. 3). Также следует отметить, что на склоне, занятом сосняком со скумпией в подлеске, обнаружена популяция фисташковой златки (*Carpodis cariosa* Pallas), у которой скумпия кожевника является кормовым растением.

По итогам проведения лесопатологического мониторинга в лесах Краснодарского края в 2022 г. Геленджикское лесничество имеет максимальную плотность очагов вредных организмов (более 900), из которых более 90% – это очаги насекомых-вредителей [20]. Проведенные исследования показали, что насаждения сосны пицундской характеризуются I классом биологической устойчивости (биологически устойчивые по классификации Е.Г. Мозолева с соавт. [21]). С учетом высокой рекреационной и защитной роли лесов Джанхотского бора необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение санитарного и лесопатологического состояния лесов, позволяющее решать актуальные задачи, связанные с сохранением экологического и ресурсного потенциала, повышением продуктивности и устойчивости насаждений [22].

В насаждениях сосны пицундской памятника природы «Джанхотский бор» для улучшения состояния насаждений рекомендуются проведение санитарно-оздоровительных мероприятий, изучение динамики численности короедов рода *Tomicus*. Для своевременного выявления патологических изменений приоритетная роль должна отводиться лесопатологическому мониторингу лесов [23].

Таблица. Сводные данные о санитарном состоянии сосны пицундской, полученные при проведении санитарного и лесопатологического обследования Джанхотского бора

Table. Summary data on the sanitary condition of Pitsunda pine, obtained during the sanitary and forest pathological survey of the Dzhankhot pine forest

№ пробной площадки <i>No Trial site</i>	Кол-во обследованных деревьев (шт.) <i>Number of inspected trees (pcs.)</i>	Средний диаметр, см <i>Average diameter, cm</i>	Средняя высота, м <i>Average height, m</i>	Распределение деревьев по категориям состояния, шт. (над чертой) и % (под чертой) <i>Distribution of trees by condition categories, pcs (above the line) and % (below the line)</i>									
				1	2	3	4	5а	5б	5в	5г	5д	5е
Сосняк со скумпией в подлеске / <i>Pine forest with a smoke tree in the undergrowth</i>													
1, 2, 3	591	26	24	$\frac{391}{66,1}$	$\frac{168}{28,4}$	$\frac{13}{2,2}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{1}{0,2}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{12}{2,1}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{6}{1,0}$
Сосняк дубово-грабнинниковый / <i>Oak-hornbeam pine forest</i>													
3, 4, 5	522	28	25	$\frac{314}{54,9}$	$\frac{282}{54,0}$	$\frac{12}{2,3}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{1}{0,2}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{16}{3,0}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{3}{0,6}$
Сосняк дубово-иглицевый / <i>Oak-iglic pine forest</i>													
6	84	26	24	$\frac{39}{46,5}$	$\frac{35}{41,7}$	$\frac{5}{5,9}$	$\frac{1}{1,1}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{2}{2,4}$	$\frac{0}{0,0}$	$\frac{2}{2,4}$



Рис. 3. Повреждения сосны пицундской ксилотрофными жесткокрылыми

Fig. 3. Damage to Pitsunda pine by xylophilous coleoptera

Выводы

Лучшим санитарным состоянием сосны пицундской характеризуются сосняки со скумпией в подлеске, где количество усыхающих и погибших деревьев не превышает 2%, причем это деревья, не входящие в первый ярус. В сосняке дубово-грабниниковом состояние сосны ухудшается, количество ослабленных деревьев составляет 54%. Состояние деревьев в сосняке иглицевом является удовлетворительным: 46,5% деревьев относится к первой категории состояния (без признаков ослабления), 41,7% – ко второй (ослабленные) категории, количество погибших деревьев не превышает 5%. Из ксилофильных жесткокрылых к массовым видам следует отнести короедов рода *Tomicus*. В сосняке со скумпией в подлеске отмечена популяция фишаковой златки (*Carpodis cariosa* Pallas).

Список использованных источников

1. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Министерство природных ресурсов и экологии РФ; Сост. Р.В. Камелин и др. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2008. 855 с.
2. Ена А.В. Сосна брутикая. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / отв. ред. А.В. Ена, А.В. Фатерыга. Симферополь: АРИАЛ, 2015. С. 68.
3. Джангиров М.Ю. Сосна пицундская. Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы. 3-е изд. / отв. ред. С.А. Литвинская. Краснодар: [б.и.]. 2017. С. 128-129. ISBN: 978-5-6040022-6-1
4. Шумкова О.А. К изучению охраняемого вида сосны пицундской урбоэкосистемы города-курорта Геленджик Краснодарского края / О.А. Шумкова, С.Б. Криворотов,

References

1. The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi) / Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation; Comp. R.V. Kamelin et al. Moscow: Association of scientific editions KMK, 2008. 855 p.
2. Ena A.V. Pine brutyskaya. The Red Book of the Republic of Crimea. Plants, algae and fungi / ed. by A.V. Ena, A.V. Vatoryga. Simferopol: ARIAL, 2015. 68 p.
3. Dzhangirov M.Y. Pitsundskaya pine. The Red Book of the Krasnodar Territory. Plants and fungi. 3rd ed. / ed. by S.A. Litvinskaya. Krasnodar: [b.i.]. 2017. P. 128-129. ISBN: 978-5-6040022-6-1
4. Shumkova O.A., Krivorotov S.B., Ivanchenko M.S., Gaidai A.A. Towards the study of the protected pine species of the Pitsunda urban ecosystem of the resort town of Gelendzhik, Krasnodar Territory // Kurazhsk readings: Proceedings

М.С. Иванченко, А.А. Гайдай // Куражковские чтения: Материалы III Международной научно-практической конференции, Астрахань, 16-17 мая 2024 года. Астрахань: Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, 2024. С. 178-182.

5. Постарнак Ю.А. Воздействие рекреационной деятельности на сообщества сосны пицундской / Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. материалы V Всероссийской научно-практической конференции, пос. Небут, 19-20 апреля 2012 г. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2012. С. 227-232. ISBN 978-5-8209-0800-2

6. Халикова О.В. Влияние рекреации на состояние формаций сосны пицундской (*Pinus brutia* var. *pityusa*) на территории Пшадского участкового лесничества (г. Геленджик) / О.В. Халикова, С.И. Муфтахова // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 23-24 января 2019 года. Саратов: ООО «КУБиК», 2019. С. 165-169.

7. Халикова О.В. Оценка санитарного состояния особо ценных лесных массивов в Михайловском лесничестве Геленджикского лесхоза / О.В. Халикова, Р.Р. Исянчулова // Российский электронный научный журнал. 2019. № 1(31). С. 136-144. DOI: 10.31563/2308-9644-2019-31-1-136-144.

8. Дунаевская Я.Н. Изучение возобновления поврежденных пожарами участков памятника природы Джанхотского бора сосны пицундской / Я.Н. Дунаевская, С.А. Козырь // Молодая наука – 2015: Материалы VI Открытой международной молодежной научно-практической конференции, Туапсе, 03-04 апреля 2015 года. Туапсе: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. С. 301-302.

9. Последствия пожара 2020 г. на территории заповедника «Утриш» (Северо-Западный Кавказ) / Гонгальский К.Б., Захарина Л.В., Казеев К.Ш. и др. // Комплексное изучение экосистем горных территорий: Сборник материалов VI Кавказского Международного экологического форума, Грозный, 20-21 октября 2023 года. Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2023. С. 94-103. DOI: 10.36684/102-1-2023-94-103.

10. Крыленко С.В. Естественное восстановление прибрежных растительных сообществ сосны пицундской после лесных пожаров / С.В. Крыленко, А.М. Алейникова, В.В. Крыленко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 2. С. 26-32.

11. Коба В.П. Возобновление сосны пицундской (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) на заповедных территориях Горного Крыма / В.П. Коба, А.Н. Салтыков, Н.А. Макаров, О.О. Коренькова // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27, № 3. С. 26-35. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-26-35.

12. Исигов В.П. О причинах усыхания сосны крымской и сосны пицундской в Крыму в 2020 году / В.П. Исигов, Н.Н. Трикоз // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021. № 138. С. 50-56. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-50-56.

13. Чернодубов А.И. Биоразнообразие фитоценозов заповедника «Утриш» / А.И. Чернодубов, Я.Г. Руденюк // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5, № 1(17). С. 120-127. DOI: 10.12737/11269.

14. Багателия А.Г. Лесопатологическое состояние насаждений в Пицунда-Мюссерском государственном заповеднике / А.Г. Багателия, Е.Г. Мозолевская, Н.А. Мирзоян,

of the III International Scientific and Practical Conference, Astrakhan, May 16-17, 2024. Astrakhan: Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev, 2024. P. 178-182.

5. Postarnak Yu.A. The impact of recreational activities on the communities of Pitsunda pine / Resort and recreational complex in the system of regional development: innovative approaches. Materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, village Nebug, April 19-20, 2012. Krasnodar: Kuban State University, 2012. P. 227-232. ISBN 978-5-8209-0800-2

6. Khalikova O.V. The impact of recreation on the state of the formations of ponderosa pine (*Pinus brutia* var. *pityusa*) on the territory of the Pshadsky district forestry (Gelendzhik) / O.V. Khalikova, S.I. Muftakhova // Innovations of nature management and environmental protection: Proceedings of the I National Scientific and Practical Conference with international participation, Saratov, 23-24 January 2019. Saratov: LLC "KUBiK", 2019. C. 165-169.

7. Khalikova O.V. Assessment of the sanitary condition of especially valuable forests in the Mikhailovsky forestry of the Gelendzhik forestry / O.V. Khalikova, R.R. Isyanulyova // Russian electronic scientific journal. 2019. No. 1(31). P. 136-144. DOI: 10.31563/2308-9644-2019-31-1-136-144.

8. Dunaevskaya Ya.N. Study of the restoration of fire-damaged areas of the natural monument of the Dzhanhotsky pine forest of Pitsundskaya / Ya.N. Dunaevskaya, S.A. Kozyr // Young Science – 2015: Proceedings of the VI Open International Youth Scientific and Practical Conference, Tuapse, April 03-04, 2015. Tuapse: Publishing House – Yug LLC, 2016. P. 301-302.

9. Consequences of the 2020 fire on the territory of the Utrish Nature Reserve (Northwestern Caucasus) / Gongalsky K.B., Zakharina L.V., Kazeev K.Sh. and others // Comprehensive study of ecosystems of mountainous territories: Proceedings of the VI Caucasian International Environmental Forum, Grozny, October 20-21, 2023. Grozny: Kadyrov Chechen State University, 2023. P. 94-103. DOI: 10.36684/102-1-2023-94-103.

10. Krylenko S.V. Natural restoration of coastal plant communities of Pitsunda pine after forest fires / S.V. Krylenko, A.M. Aleynikova, V.V. Krylenko // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety. 2015. No. 2. P. 26-32.

11. Koba V.P. The renewal of the Pitsunda pine (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) in the protected areas of the Mountainous Crimea / V.P. Koba, A.N. Saltykov, N.A. Makarov, O.O. Korenkova // Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin. 2023. Vol. 27, No. 3. P. 26-35. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-26-35.

12. Isikov V.P. On the causes of drying of the Crimean pine and the Pitsunda pine in the Crimea in 2020 / V.P. Isikov, N.N. Trikoz // Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2021. No. 138. P. 50-56. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-50-56.

13. Chernodubov A.I. Biodiversity of phytocenoses of the Utrish Reserve / A.I. Chernodubov Ya.G. Rudenok // Forestry Journal. 2015. Vol. 5, No. 1(17). P. 120-127. DOI: 10.12737/11269.

14. Bagateliya A.G. Forest pathology state of plantations in the Pitsunda-Mussera State Reserve / A.G. Bagateliya, E.G. Mozolevskaya, N.A. Mirzoyan, V.A. Frolova // Scientific research. 2017. No. 1(12). P. 20-21.

15. Saltykov A.N. Dynamics of forestry and taxation indicators and sanitary condition of Crimean pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) and Pitsunda

В.А. Фролова // Научные исследования. 2017. № 1(12). С. 20-21.

15. Салтыков А.Н. Динамика лесоводственно-таксационных показателей и санитарного состояния сосны Крымской (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) и сосны пицундской (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) на стационарных опытных объектах Карадагского природного заповедника / А.Н. Салтыков, В.И. Роговой, В.Л. Ярыш // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 36(199). С. 21-38.

16. Крайнюк Е.С. Флора ботанического заказника «Новый Свет» и прилегающих природных ландшафтов юго-восточного Крыма / Е.С. Крайнюк, Л.Э. Рыфф // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2022. № 4(24). С. 3-32. DOI: 10.21072/eco.2022.24.01.

17. Царитов А.А. Описание основных памятников природы на территории Туапсинского лесничества / А.А. Царитов, И.В. Воскобойникова // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы II Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 21-23 апреля 2021 года. Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 135-128.

18. Попович А.В. Фитосоциологическая значимость и флористическое разнообразие памятника природы «Роща сосны пицундской» (Джанхотский бор) // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. Выпуск 11. Краснодар: Краснодарское региональное отделение Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», 2021. С. 220-229.

19. Caudullo G., Welk E., San-Miguel-Ayanz J. Chorological data for the main European woody species. Mendeley Data, V18. 2024. DOI: 10.17632/hr5h2hcg4.18.

20. Нагалецкий Ю.Я. Санитарное и лесопатологическое состояние лесов Краснодарского края / Ю.Я. Нагалецкий, Е.В. Голубятникова, А.В. Левочкин, Р. Курбонийозова // Экологические проблемы использования горных лесов: Материалы II Международной научно-практической конференции, Майкоп, 23-25 ноября 2023 года. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2023. С. 307-311.

21. Мозолевская Е.Г. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса / Е.Г. Мозолевская, О.А. Катаев, Э.С. Соколова. М.: Лесная промышленность, 1984. 152 с.

22. Бутока С.В. Санитарное и лесопатологическое состояние хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Калининградской области / С.В. Бутока, Л.Н. Скрыпник // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27, № 2. С. 59-66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-59-66.

23. Аминев П.И. К изучению санитарного и лесопатологического состояния сосняков Восточного Саяна / П.И. Аминев, Т.М. Мацан // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2024. № 65. С. 3-8.

pine (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) at stationary experimental facilities of the Karadag Nature Reserve / A.N. Saltykov, V.I. Rogovoy, V.L. Yarysh // News of agricultural science of Taurida. 2023. No. 36(199). P. 21-38.

16. Krainyuk E.S. Flora of the botanical reserve “Novy Svet” and adjacent natural landscapes of the south-eastern Crimea / E.S. Krainyuk, L.E. Ryff // Proceedings of the Karadagsky scientific station named after T.I. Vyazemsky – Natural Reserve of RAS. T.I. Vyazemsky – Natural Reserve of the Russian Academy of Sciences. 2022. № 4(24). P. 3-32. DOI: 10.21072/eco.2022.24.01.

17. Tsaritov A.A. Description of the main natural monuments on the territory of Tuapse forestry / A.A. Tsaritov, I.V. Voskoboynikova // Reclamation as a driver of modernisation of agroindustrial complex in the conditions of climate change: Proceedings of the II International Scientific and Practical Internet Conference, Novocherkassk, 21-23 April 2021. Novocherkassk: LLC “Lik”, 2021. P. 135-128.

18. Popovich A.V. Phytosoziological significance and floristic diversity of the natural monument “Grove of pine tree Pizundskaya” (Dzhankhot'skiy Bor) // Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society. Issue 11. Krasnodar: Krasnodar Regional Branch of the All-Russian Public Organisation “Russian Geographical Society”, 2021. P. 220-229.

19. Caudullo G., Welk E., San-Miguel-Ayanz J. Chorological data for the main European woody species. Mendeley Data, V18. 2024. DOI: 10.17632/hr5h2hcg4.18.

20. Nagalevsky Y.Ya. Sanitary and forest pathological condition of forests of Krasnodar Krai / Y.Ya. Nagalevsky E.V. Golubyatnikova, A.V. Levochkin, R. Kurboniyozova // Ecological problems of mountain forests use: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, Maikop, 23-25 November 2023. Krasnodar: Kuban State University, 2023. P. 307-311.

21. Mozelevskaya E.G. Methods of forest pathological survey of stem pests and forest diseases foci / E.G. Mozelevskaya, O.A. Kataev, E.S. Sokolov. Kataev E.S. Sokolova. Moscow: Forest Industry, 1984. 152 p.

22. Butoka S.V. Sanitary and forest pathological condition of coniferous-broadleaved (mixed) forests of the Kaliningrad region / S.V. Butoka, L.N. Skrypnik // Forestry Bulletin. Forestry Bulletin. 2023. V. 27, № 2. P. 59-66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-59-66.

23. Aminev P.I. To the study of sanitary and forest pathological condition of pine forests of the Eastern Sayan / P.I. Aminev, T.M. Matsan // Actual problems of forest complex. 2024. № 65. P. 3-8.

Об авторах

Наталья Борисовна Денисова, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ЛТ-2 Лесоводство, экология и защита леса; ПИНЦ Author ID803690; jiucehok76@mail.ru

Александр Вячеславович Лебедев, д-р с.-х. наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства; WOS Research ID AAX-9891-2020; Scopus Author ID57214907823; ПИНЦ Author ID738683; <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>; alebedev@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Волков, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ЛТ-2 Лесоводство, экология и защита леса; ПИНЦ Author ID720603; vergasovser@mail.ru

Дмитрий Анатольевич Белов, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ЛТ-2 Лесоводство, экология и защита леса; belovda@bmstu.ru

Климентий Андреевич Козлов, студент группы ЛТ-2-82Б кафедры ЛТ-2 Лесоводство, экология и защита леса

About the authors

Natalya B. Denisova, CSc (Biology), associate professor, associate professor of the department LT-2 Forestry, ecology and forest protection; ПИНЦ Author ID803690; jiucehok76@mail.ru

Alexander V. Lebedev, DSc (Agro), associate professor, associate professor of the department of land management and forestry; WOS Research ID AAX-9891-2020; Scopus Author ID57214907823; ПИНЦ Author ID738683; <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>; alebedev@rgau-msha.ru

Sergey N. Volkov, CSc (Biology), associate professor, associate professor of the department LT-2 Forestry, ecology and forest protection; ПИНЦ Author ID720603; vergasovser@mail.ru

Dmitry A. Belov, CSc (Biology), associate professor, associate professor of the department LT-2 Forestry, ecology and forest protection; belovda@bmstu.ru

Klimenty A. Kozlov, student of group LT-2-82B of the department LT-2 Forestry, ecology and forest protection

Критерии авторства / Authorship criteria

Денисова Н.Б., Лебедев А.В., Волков С.Н., Белов Д.А., Козлов К.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Денисова Н.Б., Лебедев А.В., Волков С.Н., Белов Д.А., Козлов К.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 23.10.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 23.01.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 23.01.2025

Denisova N.B., Lebedev A.V., Volkov S.N., Belov D.A., Kozlov K.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. Denisova N.B., Lebedev A.V., Volkov S.N., Belov D.A., Kozlov K.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-145-150>
УДК 630*.161.32:553.61



ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА ПРИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОМ НАПРАВЛЕНИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННЫХ КАРЬЕРОВ ГЛИНЫ

Р.А. Осипенко, С.В. Залесов[✉], В.С. Котова, С.А. Медведев, И.В. Предеина

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»; 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Россия

Аннотация. Предпринята попытка проанализировать возможность создания карбоновых ферм на выработанных карьерах глины в Средне-Уральском таежном лесном районе. В основу исследований положен метод пробных площадей, обеспечивающий получение объективных данных о производительности искусственных насаждений, созданных на нарушенных в процессе добычи глины землях. Установлено, что в указанном лесном районе лесохозяйственное направление рекультивации обеспечивает формирование относительно производительных сосновых насаждений. Последние в процессе фотосинтеза извлекают из атмосферного воздуха углекислый газ, депонируя в своих тканях углерод, уменьшая тем самым долю парниковых газов и замедляя изменение климата. Уже к 50-летнему возрасту только в стволовой древесине депонируется до 120 т/га углерода. Углерод в древесине депонируется не только на период ее выращивания, но и на период использования продукции ее переработки (мебель, плиты, деревянные конструкции и т.д.), то есть на неопределенный срок. Следовательно, можно констатировать, что создание на выработанных карьерах глины карбоновых ферм посадкой 2-летних сеянцев сосны обыкновенной не только решает проблему обеспечения промышленности древесиной и улучшения экологической обстановки, но и реализует проект по замедлению изменения климата.

Ключевые слова: нарушенные земли, выработанные карьеры глины, рекультивация, сосна обыкновенная, карбоновые фермы, климатический проект

Формат цитирования: Осипенко Р.А., Залесов С.В., Котова В.С., Медведев С.А., Предеина И.В. Депонирование углерода при лесохозяйственном направлении рекультивации выработанных карьеров глины // Природообустройство. 2025. № 2. С. 145-150. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-145-150>

Original article

CARBON SEQUESTRATION IN THE FORESTRY DIRECTION OF RECLAMATION OF DEPLETED CLAY QUARRIES

R.A. Osipenko, S.V. Zalesov[✉], V.S. Kotova, S.A. Medvedev, I.V. Predeina

Ural State Forestry Engineering University: 37 Sibirskiy Trakt, Yekaterinburg, 620100, Russia

Abstract. An attempt was made to analyze the possibility of creating carbon farms on worked out clay quarries in the Middle Ural taiga forest region. The research is based on the method of trial plots which ensures the receipt of objective data on productivity of artificial plantations created on lands disturbed by clay extraction process. It has been established that in the specified forestry regions the forestry direction of reclamation ensures the formation of relatively productive pine plantations. The latter, in the process of Photosynthesis extract carbon dioxide from the atmospheric air, depositing carbon in their tissues, thereby reducing the share of greenhouse gases and slowing down climate change. By the age of 50, up to 120 t/ha of carbon is deposited in stem wood alone. Carbon in wood is stored not only for the period of its cultivation, but also for the period of use of its processed products (furniture, boards, wooden structures, etc.), that is, for an indefinite period. Therefore, it can be stated that the creation of carbon farms on depleted clay quarries by planting 2-year-old seedlings of Scots pine solves not only the problem of providing the industry with wood and improving the environmental situation, but also implements a project to slow down climate change.

Keywords: disturbed lands, worked out clay quarries, reclamation, scots pine, carbon farms, climate project

Format of citation: Osipenko R.A., Zalesov S.V., Kotova V.S., Medvedev S.A., Predeina I.V. Carbon sequestration in the forestry direction of reclamation of depleted clay quarries // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 2. P. 145-150. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-145-150>

Введение. Глобальной проблемой современности является изменение климата на нашей планете. Повышение температуры воздуха при сокращении количества осадков во многих регионах приводит к ряду негативных последствий. Это проявляется в увеличении потенциальной горимости лесов [1-4], снижении устойчивости насаждений и развитии эпифитотий вредных насекомых [5], сокращении биологического разнообразия [6, 7] и т.д. Особенно четко данные процессы проявляются в экстремальных условиях экотонов [8, 9].

Изменение климата обусловлено увеличением в составе атмосферного воздуха парниковых газов. Одним из последних является углекислый газ, который усваивается зелеными растениями в процессе фотосинтеза, и углерод используется ими для создания клеток и тканей. В то же время травянистые растения, депонирующие значительное количество углерода в течение короткого периода, возвращают основную его массу обратно в атмосферу в процессе перегнивания. Совершенно другая картина складывается у древесных растений, которые депонируют углерод в древесине не только на период роста, но и в последующем – в продуктах ее переработки, то есть в мебели, плитках и т.д. Другими словами, древесная растительность при своевременной ее переработке депонирует углерод на неопределенно длительный срок.

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации в связи с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [10] предусмотрено увеличение поглощающей способности управляемых экосистем более чем в 2,2 раза: с 535 млн т CO_2 – эквивалента в настоящее время – до 1200 млн т к 2050 г.

Одним из путей претворения вышеуказанной стратегии является реализация лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель, а также создание на территории последних карбоновых ферм. На Урале имеется значительный опыт лесохозяйственного направления рекультивации различных видов нарушенных земель [11-16]. Однако крайне недостаточно данных о формировании древесной растительности на выработанных карьерах глины [17], а имеющиеся работы касаются прежде всего формирования травянистых ассоциаций [18, 19]. Все это и определило направление выполненных исследований.

Цель исследований: оценка динамики накопления углерода искусственными сосновыми насаждениями, созданными на выработанных карьерах глины в условиях Средне-Уральского

таежного лесного района, и определение возможности создания на них карбоновых ферм.

Материалы и методы исследований.

В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП). Пробные площади закладывались в типичных местах таксационных выделов с учетом требований апробированных в районе исследований методик [20, 21]. По форме ПП были прямоугольными с варьированием площади от 0,25 до 0,30 га, что обеспечивало наличие на них не менее 250 деревьев преобладающей породы. На ПП производился сплошной пересчет деревьев с замером диаметров на высоте 1,3 м. Для построения кривых высот и установления средней высоты производился обмер 20-25 модельных деревьев пропорционально их количеству в ступенях толщины. Средний диаметр устанавливался через сумму площадей сечений. Для определения запаса древостоя использовались таблицы объемов стволов в коре разных пород [22]. Возраст искусственных сосновых насаждений устанавливался по книге учета лесных культур Сухоложского лесничества.

Определение задепонированного в древесной растительности углерода производилось с использованием конверсионных коэффициентов, приведенных в действующих методических рекомендациях [23].

Объектом исследований служили искусственные сосновые насаждения, созданные в разные годы на выработанных карьерах глины в Сухоложском лесничестве Свердловской области. Территория последнего в соответствии с действующими нормативными документами относится к Средне-Уральскому таежному лесному району. Выбор для создания лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) обусловлен ее низкой требовательностью к плодородию почвы и устойчивостью к заморозкам [24].

Лесные культуры создавались 2-летними сеянцами рядовой посадкой под меч Колесова. Предварительно на части выработанных карьеров наносился слой вскрышных пород толщиной 10-15 см. По причине слабого развития живого напочвенного покрова и низкой конкуренции со стороны мягколиственных пород агротехнические и лесоводственные уходы в созданных лесных культурах не проводились.

Результаты и их обсуждение. В таблице приведена характеристика искусственных древостоев с преобладанием сосны, произрастающих на рекультивированных глиняных карьерах Свердловской области. Исследуемые карьеры находятся в окрестностях городов Асбест, Богданович и Сухой Лог. Сбор полевых данных

Таблица. Характеристика искусственных сосняков
на рекультивированных глиняных карьерах

Table 1. Characteristics of artificial pine forests in reclaimed clay quarries

Код ПП TP Code	Состав насаждения Planting composition	Средний возраст преобладающей породы, лет Average age of the predominant breed, years	Густота древостоя, шт./га Stand density, pcs / ha	Запас древесины, м ³ /га Timber stock, m ³ / ha	Депонированный углерод, т/га Carbon sequestered, t / ha
6Б	10С	6	1875	1	0,4
1Б	10С+С+Б	13	1324	17	6,3
A9	8С2С+Е+Б+Ос	13	5451	19	7,0
A10	10С+Б	13	9548	9	3,3
A12	10С	18	4423	30	11,1
A8	10С	19	5457	52	19,2
3Б	7С3Л	22	1817	120	44,4
4Б	10С	22	1513	106	39,2
A14	10С+Е+Б	22	3891	97	35,9
A7	10С	23	4739	136	50,3
A13	10С	24	5088	119	44,0
A6	10С+Б+Ос	26	7167	162	59,9
A5	9С1Б+Ос	34	2509	262	96,9
A4	8С1Б1Ос+К	36	3500	257	95,1
5Б	10С	37	3404	251	92,9
C2	10С	40	3406	301	111,4
A1	10С+Б+Ос	46	2080	317	100,8
A3	10С+Б+Ос	46	2304	337	107,2
A2	9С1Б	51	2195	329	104,6
C1	10С	53	2871	395	125,6

осуществлялся в 2020 и 2021 гг. Сосняки характеризуются I-III классами бонитета. Данные о внешнем виде выращиваемых на бывшем карьере добычи глины искусственных сосновых насаждениях представлены на рисунке 1. Более подробная информация о местоположении и таксационная характеристика исследуемых лесных культур приведены в работах [17, 25].

Конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода в биомассе древостоя по объемному запасу древесины для сосняков, произрастающих на рекультивированных глиняных карьерах в условиях южной тайги, для молодых (до 40 лет) – 0,370, для средневозрастных (41-80 лет) насаждений – 0,318 [23].

На рисунке 2 приведена динамика накопления углерода в биомассе сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированных карьерах добычи глины в условиях Средне-Уральского таежного лесного района. Для построения линии тренда рисунка 5 использовалось уравнение Теразаки:

$$Y = ae^{-b/x}, \quad (1)$$

где Y – искомый таксационный показатель, см; x – средний возраст древостоя, лет; e – постоянная Эйлера; a, b, – коэффициенты уравнения.

Рис. 1. Внешний вид искусственных
сосновых насаждений
на рекультивированном карьере
добычи глины (ПП А7)Fig. 1. The appearance of artificial pine plantations
in a reclaimed clay quarry (TP A7)

Данная функция была выбрана в связи с ее более высоким значением коэффициента детерминации по сравнению с другими испытанными функциями и соответствием уравнения природе исследуемого объекта (отсутствуют резкие загибы концов линии тренда, линия

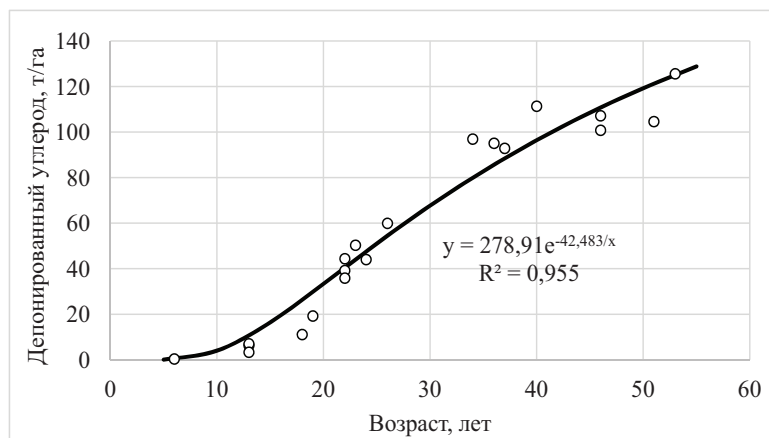


Рис. 2. Динамика накопления углерода в биомассе сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированных глиняных карьерах

Fig. 2. Dynamics of carbon accumulation in the biomass of pine stands growing in reclaimed clay quarries

не переходит в зону отрицательных значений). Коэффициенты уравнения Теразаки были посчитаны в программе Statistica-8. Стандартные уравнения программы Excel-2013 не справились с аппроксимацией этих данных на приемлемом уровне.

Полученные результаты не противоречат данным других исследователей, изучающих депонирование углерода сосновыми культурами [26].

Выводы

1. Выработанные карьеры глины являются одним из широко распространенных видов нарушенных земель.
2. При лесоводственном направлении рекультивации созданием лесных культур сосны обыкновенной на выработанных карьерах глины

формируются сосновые насаждения I-III классов бонитета с запасом стволовой древесины в 53-летнем возрасте 395 м³/га.

3. В процессе фотосинтеза сосновые насаждения, созданные на выработанном карьере глины, извлекают углекислый газ из атмосферного воздуха, снижая тем самым долю в нем парниковых газов.

4. Масса задепонированного в древесине углерода в 53-летнем сосновом насаждении составляет 125,6 т/га.

5. Углерод в древесине будет задепонирован не только на период ее выращивания, но и на период использования продукции переработки древесины, то есть на неопределенно длительный срок, что доказывает перспективность создания карбоновых ферм на выработанных карьерах глины.

Список использованных источников

1. Швиденко Н.З. Климатические изменения и лесные пожары в России / Н.З. Швиденко, Д.Г. Щепашченко // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50-61.
2. Архипов Е.В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия / Е.В. Архипов, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 10-15.
3. Лескинен П. Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука 11. Справочник. / П. Лескинен, М. Линднер, П.-Й. Веркерк и др. // Joensuu: Европейский институт леса, 2020. 140 с. ISSN 2342-9526 (pdf) <https://doi.org/10.36333/wsctu11>
4. Залесов С.В. Пожары и их последствия в Западной Сибири. Монография / С.В. Залесов, Е.П. Платонов, Е.Ю. Платонов. Екатеринбург: УГЛУ, 2022. 191 с.
5. Пирихалава-Карпова Н.Р. Защита еловых лесов от вспышек *Ips typographus* (Обзор) / Н.Р. Пирихалава-Карпова А.А. Карпов, Е.Е. Козловский и др. // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 55-67.

References

1. Shvidenko N.Z. Climatic changes and forest fires in Russia / N.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko // Forestry science. 2013. No. 5. P. 50-61.
2. Arkhipov E.V. Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their environmental consequences / E.V. Arkhipov, S.V. Zalesov // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 4 (158). P. 10-15.
3. Leskinen P. Forests of Russia and climate change. What science can tell us 11 / P. Leskinen, M. Lindner P.-J. Verkerk et al. // Joensuu: European Forest Institute, 2020. 140 p.
4. Zalesov S.V. Fires and their consequences in Western Siberia. Monograph / S.V. Zalesov, E.P. Platonov, E.Y. Platonov. Yekaterinburg: UGLU, 2022. 191 p.
5. Pirtskhalava-Karpova N.R. Protection of spruce forests from outbreaks of *Ips typographus* (Review) / N.R. Pirtskhalava-Karpova A.A. Karpov, E.E. Kozlovsky et al. // Izvestiya vuzov. Forest magazine. 2021. No. 4. P. 55-67.
6. Frelich L.E., Montgomery R.A., Reich P.B. Seven ways a warming climate can kill the Southern

6. Frelich L.E., Montgomery R.A., Reich P.B. Seven ways a warming climate can kill the Southern boreal forest // *Forests*. 2021. V. 12. No 5. 560. <https://doi.org/10.3390.f12050560>
7. Du E., Tang Y. Distinct climate effects on Dahurian larch growth at an Asian temperate-boreal forest ecotone and nearby boreal sites // *Forests*. 2022. V. 13. № 1.27. <https://doi.org/10.3390/f13010027>
8. Evans P., Brown C. The boreal-temperate forest ecotone response to climate change // *Environ. Rev.* 2017. V. 25. P. 423-431. <https://doi.org/10.1139/er-2017-009>
9. Fomin V., Mikhailovich A., Golikov D., Agapitov E. Reconstruction of the expansion of Siberian larch into the mountain tundra in the polar Urals in the 20th-early 21st centuries // *Forests*. 2022. V. 13. p. 419. <https://doi.org/10.3390/f13030419>
10. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года от 29.10.2021 г. № 3052-р. URL: <https://government.ru/docs/43708/> (дата обращения: 18.12.2024)
11. Залесов С.В. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.А. Зверев и др. // ИВУЗ «Лесной журнал». 2013. № 2. С. 66-73.
12. Залесов С.В. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности / С.В. Залесов, О.В. Толкач И.А. Фрейберг., Н.Ф. Черноусова // *Экология и промышленность России*. 2017. Т. 21. № 9. С. 42-47.
13. Залесов С.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, Ю.В. Зарипов и др. // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22. № 12. С. 63-67. DOI: 10.18412/816-0395-2018-12-63-67.
14. Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 2020, 35 (1). P. 7-14. DOI: 10/28955/alinterizbd. 696559.
15. Bachurina A.V., Zalesov S.V., Ayan S. Characteristics of plantations on disturbed lands in copper smelting zone in urals, Russia // *Forest plantations on disturbed lands forestist*, 2022. Xx-xx: 1-9. DOI: 10.5152/forestist. 2022. 22019.
16. Петров А.И. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах / А.И. Петров, С.В. Залесов, В.С. Котова // *Сибирский лесной журнал*. 2023. № 3. С. 15-20. DOI: 10.5372/SJFS. 2023.03.02.
17. Залесов С.В. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд. Монография. / С.В. Залесов, Ю.В. Зарипов, Р.А. Осипенко Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2022. 282 с. EDN: QKHXB
18. Осипенко Р.А. Формирование естественных фитоценозов на выработанном карьере кирпичной глины как начальный этап дальнейшего лесоразведения / Р.А. Осипенко, А.Е. Осипенко, Ю.В. Зарипов и др. // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2020. № 3. С. 111-117.
19. Осипенко Р.А. Рекультивированные земли как резерв кормовой базы животноводства / Осипенко Р.А., Зарипов Ю.В., Залесов С.В. // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 5 (208). С. 40-54. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-40-54.
- boreal forest // *Forests*. 2021. V. 12. No 5. 560. <https://doi.org/10.3390.f12050560>
7. Du E., Tang Y. Distinct climate effects on Dahurian larch growth at an Asian temperate-boreal forest ecotone and nearby boreal sites // *Forests*. 2022. V. 13. № 1.27. <https://doi.org/10.3390/f13010027>
8. Evans P., Brown C. The boreal-temperate forest ecotone response to climate change // *Environ. Rev.* 2017. V. 25. P. 423-431. <https://doi.org/10.1139/er-2017-009>
9. Fomin V., Mikhailovich A., Golikov D., Agapitov E. Reconstruction of the expansion of Siberian larch into the mountain tundra in the polar Urals in the 20th-early 21st centuries // *Forests*. 2022. V. 13. p. 419. <https://doi.org/10.3390/f13030419>
10. Strategy of socio-economic Development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050, dated 10/29/2021, No. 3052-R. URL: <https://government.ru/docs/43708/> (accessed: 12/18/2024)
11. Zalesov S.V. Formation of artificial plantings at the Reftinskaya GRES ash dump / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.A. Zverev, and others // *IVZ "Lesnoy zhurnal"*. 2013. No. 2. P. 66-73.
12. Zalesov S.V., Tolkach O.V., Freiberg I.A., Chernousova N.F. The experience of creating forest crops on salt marshes of good forest suitability // *Ecology and Industry of Russia*. 2017. Vol. 21. No. 9. P. 42-47.
13. Zalesov S.V. Recultivation of disturbed lands at the tantalum-beryllium deposit / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, Yu.V. Zaripov et al. // *Ecology and Industry of Russia*. 2018. Vol. 22. No. 12. P. 63-67. DOI: 10.18412/816-0395-2018-12-63-67.
14. Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 2020, 35 (1). P. 7-14. DOI: 10/28955/alinterizbd. 696559.
15. Bachurina A.V., Zalesov S.V., Ayan S. Characteristics of plantations on disturbed lands in copper smelting zone in urals, Russia // *Forest plantations on disturbed lands forestist*, 2022. Xx-xx: 1-9. DOI: 10.5152/forestist. 2022. 22019.
16. Petrov A.I., Zalesov S.V., Kotova V.S. Efficiency of creation of forest cultures of common pine on drainage dumps // *Siberian Forest Journal*. 2023. No. 3. P. 15-20. DOI: 10.5372/SJFS. 2023.03.02.
17. Zalesov S.V. Experience of forestry reclamation of disturbed lands in the development of deposits of clay, chrysotile asbestos and rare earth ores. Monograph. / S.V. Zalesov Yu.V. Zaripov, R.A. Osipenko Yekaterinburg: Ural State Forestry Institute. Univ., 2022. 282 p. EDN: QKHXB
18. Osipenko R.A. The formation of natural phytocenoses in a brick clay quarry as the initial stage of further forestry/ Osipenko A.E. Osipenko, Yu.V. Zaripov, and others // *Bulletin of the V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy*. 2020. No. 3. P. 111-117.
19. Osipenko R.A. Recultivated lands as a reserve for livestock feed / Osipenko R.A., Zaripov Yu.V., Zalesov S.V. // *Agarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 5 (208). P. 40-54. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-40-54.
20. Bunkova N.P. Fundamentals of phytomonitoring. Training manual. / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova et al. Yekaterinburg: Ural State Forestry Institute. University, 2020. 90 pages.
21. Dancheva A.V. Forest ecological monitoring. Training manual. / Dancheva A.V., Zalesov S.V., Popov A.S. Yekaterinburg: UGLTU, 2023. 146 p. EDN: TSYQQQ.

20. Бунькова Н.П. Основы фитомониторинга. Учебное пособие. / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.

21. Данчева А.В. Лесной экологический мониторинг. Учебное пособие. / Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2023. 146 с. EDN: TSYQQQ

22. Нагимов З.Я. Нормативно-справочные материалы по таксации лесов Урала. Учебное пособие / З.Я. Нагимов, Л.А. Лысов, И.Ф. Коростелев и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 160 с.

23. Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации 27.05.2022 № 371. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (Дата обращения 13.12.2024).

24. Котова В.С. Определение перспективности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для создания карбоновых ферм / В.С. Котова, И.Е. Корчагин, Е.П. Розинкина и др. // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 3-13. DOI: 10.51318/FRET. 2023.3.86.001.

25. Осипенко Р.А. Эффективность лесохозяйственного направления рекультивации выработанных карьеров глины в Средне-Уральском таежном лесном районе / Р.А. Осипенко, С.В. Залесов, Ю.В. Зарипов // Лесохозяйственная информация. 2022. № 4. С. 96-102. DOI: 10.24419/LHI. 2304-3083.2022.4.09

26. Чураков Б.П. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны / Б.П. Чураков, Е.В. Манякина // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 1. С. 125-129.

22. Nagimov Z.Ya. Normative reference materials on forest taxation in the Urals. Training manual. / Z.Ya. Nagimov L.A. Lysov, I.F. Korostelev, and others. Yekaterinburg: Ural State Forestry Institute. Univ., 2002. 160 p.

23. On approval of methods for quantifying greenhouse gas Emissions and greenhouse gas removals: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 371 dated 05/27/2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (Accessed 13.12.2024).

24. Kotova V.S. Determination of the prospects of the common pine (*Pinus sylvestris* L.) for the creation of carbon farms / V.S. Kotova, I.E. Korchagin, E.P. Rozinkina et al. // Forests of Russia and agriculture in them. 2023. № 3 (86). pp. 3-13. DOI: 10.51318/FRET. 2023.3.86.001.

25. Osipenko R.A., Zalesov S.V., Zaripov Yu.V. Efficiency of forestry in the reclamation of depleted clay quarries in the Middle Ural taiga forest region // Forestry Information. 2022. No. 4. P. 96-102. DOI: 10.24419/LHI. 2304-3083.2022.4.09

26. Churakov B.P. Carbon deposition by pine crops of different ages / B.P. Churakov, E.V. Manyakina // Ulyanovsk Medical and Biological Journal. 2012. No. 1. P. 125-129.

Сведения об авторах

Регина Александровна Осипенко, канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства; ORCID: 0000-0003-3359-3079; Author ID: 1026584; osipenkora@m.usfeu.ru

Сергей Вениаминович Залесов, д-р с.-х. наук, профессор; заведующий кафедрой лесоводства; ORCID: 0000-0003-3779-410x; AuthorID: 185418; zalesovsv@m.usfeu.ru

Вероника Сергеевна Котова, учащаяся Уральского лесного колледжа; ORCID: 0000-0001-7342-5577; Veronikakotova8800@gmail.com

Семен Александрович Медведев, магистр; ORCID: 0009-0004-4211-605x

Ирина Владимировна Предеина, канд. с.-х. наук, докторант кафедры лесоводства; ORCID: 0009-0003-6806-8968; predeinaiv@m.usfeu.ru

About the authors

Regina A. Osipenko, CSc (Agro), associate professor of the department of forestry; ORCID: 0000-0003-3359-3079; Author ID: 1026584; osipenkora@m.usfeu.ru

Sergey V. Zalesov, DSc (Agro), professor; head of the department of forestry; ORCID: 0000-0003-3779-410x; AuthorID: 185418; zalesovsv@m.usfeu.ru

Veronika S. Kotova, a student at the Ural Forestry College; ORCID: 0000-0001-7342-5577; Veronikakotova8800@gmail.com

Semyon A. Medvedev, master's degree holder; ORCID: 0009-0004-4211-605x

Irina V. Predeina, CSc (Agro), doctoral candidate of the department of forestry; ORCID: 0009-0003-6806-8968; predeinaiv@m.usfeu.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Осипенко Р.А., Залесов С.В., Котова В.С., Медведев С.А., Предеина И.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Осипенко Р.А., Залесов С.В., Котова В.С., Медведев С.А., Предеина И.В. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Osipenko R.A., Zalesov S.V., Kotova V.S., Medvedev S.A., Predeina I.V. performed theoretical studied, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Osipenko R.A., Zalesov S.V., Kotova V.S., Medvedev S.A., Predeina I.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 22.01.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 23.03.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 23.03.2025