

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

1' 2023

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

Moscow, Publishing house
of Russian Timiryazev State Agrarian University

УДК 502/504
ББК 20.1
П 77

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

1' 2023

Учредитель и издатель:

**ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева**

Журнал 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>

Редактор *В.И. Марковская*
Компьютерный набор и верстка –
А.С. Лаврова
Перевод на английский язык –
В.Г. Рябчикова
Ответственный за выпуск –
Н.Я. Филатова

Адрес редакции: 127434, Москва,
Прянишникова ул., 14, строение 7-7А
Тел.: 8 (499) 976-36-67
Email: priroudamgup@mail.ru
Сайт: environment.elpub.ru

Отпечатано в типографии
ООО «Офсет Принт»
127550, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 39, корп. 1
Тел: 8 (499) 976-24-85,
8 (916) 503-02-43

Подписано в печать 10.04.23 г.
Формат 60 84/8, Тираж 500 экз.

При использовании
материалов журнала в любой форме
ссылка на журнал обязательна.

За достоверность информации
ответственность несут авторы.

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2023

Главный научный редактор

Снежко В.Л., доктор технических наук, профессор, академик РАН
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Заместитель главного научного редактора

Бенин Д.М., кандидат технических 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)

Бегляров Д.С., 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)

Жарницкий В.Я., д-р. техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Исмайлов Г.Х., д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Карпенко Н.П., д-р. техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Косиченко Ю.М., д. техн. наук, профессор
ФГБНУ РосНИИГПМ, (г. Новочеркасск, Российская Федерация)

Лисичкин С.Е., д-р. техн. наук, с.н.с.
Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (Москва, Российская Федерация)

Михеев П.А., д-р. техн. наук, профессор
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)

Рулев А.С., д-р. с.-х. наук, с.н.с., академик РАН
ФГАУ ВО «Волгоградский государственный университет»,
(г. Волгоград, 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)

ПОДПИСКА: электронный каталог «Пресса России»
<https://www.ppressa-rf.ru/cat/1/edition/t80746/>

Цена подписная

УДК 502/504
ББК 20.1

UDC 502/504
BBC 20.1
P 77

ISSN 1997-6011

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

1' 2023

Founder and Publisher:
Russian Timiryazev State
Agrarian University

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>

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: 127434,
Moscow, Pryanishnikova str., 14, building 7-7A
Tel.: +7 (499) 976-36-67
Email: prirodangup@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 10.04.23
Format 60 84/8, Circulation 500

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

*The authors of articles are responsible
for validity of the information.*

© Russian Timiryazev State Agrarian University,
2023

Chief scientific editor

Snezhko V.L., doctor of technical sciences, professor,
RANS academician
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Associate chief scientific editor

Benin D.M., candidate of technical sciences,
associate professor, corresponding member of the Russian academy
of hydro economic sciences
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Editorial board

Alekseev A.S., doctor of geographical sciences, professor
The Saint-Petersburg state university named after S.M. Kirov
(Saint-Petersburg, Russian Federation)

Beglyarov D.S., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Bezborodov Yu.G., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Bryanskaya Yu.V., doctor of technical sciences, associate professor
FGBOU VO "National research Moscow state building university" (Moscow,
Russian Federation)

Volosukhin V.A., doctor of technical sciences, professor
Academy of hydraulic structures safety (Novocherkassk, Russian Federation)

Dubenok N.N., doctor of agricultural sciences, professor,
academician of RAS
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Zharnitsky V.Ya., doctor of technical sciences, associate professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Ismaylov G.H., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Karpenko N.P., doctor of technical sciences, associate professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Kosichenko Yu.M., doctor of technical sciences, professor
FGBNU RosNIIPM (Novocherkassk, Russian Federation)

Lisichkin S.E., doctor of technical sciences, senior researcher
Branch of the public company "Institute "Hydroproject" – "NIIES" (Moscow,
Russian Federation)

Mikheev P.A., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Pchelkin V.V., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Ratkovich L.D., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Rubin O.D., doctor of technical sciences, senior researcher
Public company "Institute "Hydroproject" – "NIIES" (Moscow, Russian Federation)

Rulev A.S., doctor of agricultural sciences, senior researcher,
academician of RAS
FGAOU VO "Volgograd state university" (Volgograd, Russian Federation)

Khanov N.V., doctor of technical sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Khlyustov V.K., doctor of agricultural sciences, professor
RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

SUBSCRIPTION: electronic catalogue of «Pressa Rossii»
<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/t80746/>

Price of subscription

UDC 502/504
BBC 20.1

Содержание

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Филатова М.Ю., Крупская Л.Т., Леоненко А.В., Кочарян Ю.Г.

Сохранение и восстановление продуктивности нарушенных золотодобычей земель с использованием инновационного подхода6

Юрченко И.Ф.

Использование орошаемых земель Республики Крым в условиях дефицита водных ресурсов.....13

Ангольд Е.В.

Интегрированное управление водораспределением – путь к совершенствованию водохозяйственной деятельности в Крымском регионе.....21

Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Гречук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е.

Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т».....28

Бадмаева С.Э.

Агроэкологический мониторинг состояния черноземов лесостепной зоны Красноярского края.....33

Гидротехническое строительство

Курбанов С.О., Ханов Н.В., Черных О.Н.

Проблемы и пути решения вопросов инженерной защиты и восстановления прибрежных нарушенных земель городских территорий.....38

Хаек Бушра

Теоретическое обоснование параметров телескопического водовыпускного сооружения с круглоцилиндрическим поплавком.....47

Жезмер В.Б., Адьяев С.Б., Шабанов Р.М.

Алгоритм анализа гидромелиоративной системы с целью выявления причин снижения эксплуатационной надежности и производительности54

Гидравлика и инженерная гидрология

Розенталь О.М., Федотов В.Х.

Идентификация предприятий-загрязнителей воды на основе нейросетевого анализа.....62

Карпов Д.Ф., Павлов М.В.

Методика определения потерь давления на трение в круглом трубопроводе постоянного сечения.....69

Бакланова Д.В., Баев О.А.

Оценка гидравлической шероховатости русла магистрального канала76

Исмайылова И.Г., Исмайылов Г.Х., Муращенкова Н.В.

Учет и оценка нестационарности при управлении водными ресурсами речного бассейна.....82

Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В.

Распределение тяжелых металлов по формам существования и их содержание в донных отложениях плесов Ивановского водохранилища89

Карпенко Н.П., Ширяева М.А.

Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий95

Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Шагин С.И.

Зоны поражения селевыми потоками 1967 года в долине реки Баксан (Центральный Кавказ)..... 102

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

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Миронова Г.М., Гостев В.В.

Таксономический анализ флоры сосудистых растений лесной опытной дачи Тимирязевской академии..... 108

Ковалев А.П., Громыко О.С.

Освоение и состояние лесов Дальнего Востока 115

Беховых Ю.В., Беховых Л.А.

Параметры компенсации почвенного влагодефицита при высадке сеянцев *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой на гарях ленточных боров 122

Соломенцева А.С., Солонкин А.В., Крючков С.Н., Егоров С.А., Романенко А.К.

Влияние препарата «Биостим» на рост и развитие семян и сеянцев древесных видов в засушливой зоне 129

Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В., Эльшанавани Е.Е., Ваганова А.А.

Оценка санитарного состояния березовых древостоев в лесопарках города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») 137

Юбилей

Перминов А.В., Бенин Д.М.

85-летний юбилей заслуженного деятеля науки Российской Федерации Исмайылова Габил Худуш оглы 145

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

- Filatova M.Yu., Krupskaya L.T., Leonenko A.V., Kocharyan J.H.**
Preservation and restoration of productivity of disturbed gold mining lands using an innovative approach6
- Yurchenko I.F.**
Use of irrigated lands of the Republic of Crimea in the conditions of water resources deficit13
- Angold Y.V.**
Integrated water distribution management – the way to enhance water management activities in the Crimean Region21
- Solovyev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Y.N., Zagoruiko M.G., Kuznetsov R.E.**
Organization of the irrigation site for the effective operation of the «Cascade 65T» sprinkler machine28
- Badmaeva S.E.**
Agroecological monitoring of the state of the Chernozem forest-steppe zone of the Krasnoyarsk krai33

Hydraulic engineering construction

- Kurbanov S.O., Khanov N.V., Chernykh O.N.**
Problems and ways for solving issues of engineering protection and restoration of coastal disturbed lands of urban territories38
- Hayek Bushra**
Theoretical substantiation of the parameters of a telescopic water outlet structure with a circular cylindrical float47
- Zhezmer V.B., Adjyaev S.B., Shabanov R.M.**
Algorithm for analyzing a hydro melioration system to identify the causes of a decrease in operational reliability and productivity54

Hydraulics and engineering hydrology

- Rozental O.M., Fedotov V.Kh.**
Identification of water polluting enterprises based on neural network analysis62
- Karpov D.F., Pavlov M.V.**
Method for determining friction pressure losses in a circular pipeline of constant cross-section69
- Baklanova D.V., Baev O.A.**
Assessment of the hydraulic roughness of the main channel bed76
- Ismaylova I.G., Ismayilov G.Kh., Murashchenkova N.V.**
Accounting and assessment of non-stationarity in the management of river basin water resources82
- Tolkachev G.Yu., Korzhenevskiy B.I., Kolomiitsev N.V.**
Distribution of heavy metals by forms of existence and their content in the bottom sediments of the reach of the Ivankovsky reservoir89
- Karpenko N.P., Shiryaeva M.A.**
Assessment of the impact of oil production on the quality of water bodies of the Perm territory using GIS technologies95
- Dokukin M.D., Bekkiev M.Yu., Kalov R.Kh., Shagin S.I.**
Zones affected by mudflows of 1967 in the valley of the Baksan river (Central Caucasus) 102

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

- Dubenok N.N., Lebedev A.V., Mironova G.M., Gostev V.V.**
Taxonomical analysis of the flora of vascular plants in the forest experimental station of the Timiryazev Academy 108
- Kovalev A.P., Gromyko O.S.**
Development and condition of forests of the Far East 115
- Bekhovyh Yu.V., Bekhovyh L.A.**
Parameters of compensation of soil moisture deficiency when planting *Pinus sylvestris* L. seedlings with a closed root system on the burns of ribbon hogs 122
- Solomentseva A.S., Solonkin A.V., Kryuchkov S.N., Egorov S.A., Romanenko A.K.**
The effect of the preparation «Bioslim» on the growth and development of seeds and seedlings of woody species in the arid zone 129
- Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V., Elshanavani E.E., Vaganova A.A.**
Assessment of the sanitary condition of birch stands in forest parks of the city of Tyumen (on the example of the Zatyumensky Ecopark) 137

Anniversary

- Perminov A.V., Benin D.M.
85th Anniversary of the Honored Worker of Science of the Russian Federation Ismailov Gabil Khudush oglu

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

УДК 622.882

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-6-12



СОХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ НАРУШЕННЫХ ЗОЛОТОДОБЫЧЕЙ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННОГО ПОДХОДА

Филатова Мария Юрьевна¹, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
ORCID0000-0002-2212-9783; Scopus: 56490371700; РИНЦ ID: 1060948; WOS Research ID: filatovamariya@mail.ru

Крупская Людмила Тимофеевна^{1✉}, д-р биол. наук, профессор, заслуженный эколог РФ
главный научный сотрудник, ORCID0000-0002-4479-4047; Scopus: 48761528600; РИНЦ ID: 67109; WOS Research ID: E-8087-2014; ecologiya2010@yandex.ru

Леоненко Анна Валерьевна², младший научный сотрудник
ORCID: 0000-0002-0499-7675; Scopus: 55683328800; РИНЦ ID: 177237; WOS Research ID: ABH-2309-2021; 334212@mail.ru

Кочарян Юлия Гамлетовна³, канд. филол. наук, доцент
ORCID: 0000-0001-5960-2434; Scopus: РИНЦ ID: 1011258; WOS Research ID: HLW-3396-2023; juliakocharyan@mail.ru

¹ Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства («ДальНИИЛХ»), г. Хабаровск, Россия

² Институт горного дела ДВО РАН (Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН) (ИГД ДВО ХФИЦ ДВО РАН), г. Хабаровск, Россия

³ Сочинский государственный университет (СГУ), г. Сочи, Россия

Аннотация. Обобщен многолетний опыт исследований по разработке природоподобных технологий на токсичных техногенных образованиях россыпной золотодобычи с использованием комплексной оценки состояния объектов окружающей среды и инновационного подхода. Большое количество отходов переработки золотороссыпных месторождений, размещенных на продуктивных участках, изъятых из фонда лесных земель, оказывает отрицательное воздействие на компоненты экосферы. В связи с этим цель исследований заключалась в создании природоподобной технологии, позволяющей сохранить и восстановить продуктивность нарушенных золотодобычей земель для обеспечения их экологической безопасности. Объектом исследований явилась техногенная система в границах влияния переставшего существовать горного предприятия «Кербинский прииск» района им. П. Осипенко (п. Бриакан) Хабаровского края. В исследованиях использованы общепринятые методы, а также дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), ГИС-технологии и математический аппарат. ДЗЗ позволило выявить нарушенные территории на различных геоподложках, на мультиспектральных комбинированных снимках и индексном изображении NDVI. С использованием программы QGIS проведен анализ динамики трансформации нарушенных земель и рассчитана их площадь. Установлено, что токсичные отходы обогащения золотороссыпных месторождений второго класса опасности являются источником загрязнения среды обитания. Загрязняющие вещества, мигрируя от отходов переработки в компоненты биосферы, приводят к их масштабному техногенному загрязнению. Так, верхний горизонт техногенных почв аккумулирует максимальное количество токсичных элементов, мг/кг: Си – 454; Zn – 1241; Pb – 934. Это значительно выше фоновых показателей в 3-9 и более раз. Выполненные расчеты значения вегетационного индекса NDVI показали, что район исследования можно отнести к сильно токсичному, относящемуся к I категории экологических рисков. Величина NDVI на техногенной территории составила от 0,034 до 0,063, что свидетельствует о слабой степени восстановления лесной растительности. На основе анализа полученных результатов предложены новые технологические решения, подтвержденные патентами РФ.

Ключевые слова: нарушенные земли, сохранение и восстановление, золотодобыча, продуктивность, инновационный подход

Формат цитирования: Филатова М.Ю., Крупская Л.Т., Леоненко А.В., Кочарян Ю.Г. Сохранение и восстановление продуктивности нарушенных золотодобываемых земель с использованием инновационного подхода // Природообустройство. 2023. № 1. С. 6-12. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-6-12.

© Филатова М.Ю., Крупская Л.Т., Леоненко А.В., Кочарян Ю.Г., 2023

Original article

PRESERVATION AND RESTORATION OF PRODUCTIVITY OF DISTURBED GOLD MINING LANDS USING AN INNOVATIVE APPROACH

Filatova Maria Yurievna¹, candidate of technical sciences, senior researcher

ORCID0000-0002-2212-9783; Scopus: 56490371700; РИНЦ ID: 1060948; WOS Research ID: filatovamariya@mail.ru

Krupskaya Lyudmila Timofeevna^{1✉}, doctor of biological sciences, professor, «Honoured ecologist of RF»

ORCID0000-0002-4479-4047; Scopus: 48761528600; РИНЦ ID: 67109; WOS Research ID: E-8087-2014; ecologiya2010@yandex.ru

Leonenko Anna Valerievna², junior researcher

ORCID: 0000-0002-0499-7675; Scopus: 55683328800; РИНЦ ID: 177237; WOS Research ID: ABH-2309-2021; 334212@mail.ru

Kocharyan Julia Hamletovna³, candidate of philological sciences, associate professor

ORCID: 0000-0001-5960-2434; Scopus: РИНЦ ID: 1011258; WOS Research ID: HLW-3396-2023; juliakocharyan@mail.ru

¹ Far-Eastern Research Institute of Forestry ("DalNILH"), Khabarovsk, Russia

² Institute of Mining, DVO RAS (Khabarovsk Federal Research Center DVO RAS) (IGD DVO HFITS DVO RAS), Khabarovsk, Russia

³ Sochi State University (SSU), Sochi, Russia

Annotation. The article summarizes the long-term experience of research conducted on the development of nature-like technologies on toxic technogenic formations of placer gold mining using a comprehensive assessment of the state of environmental objects and an innovative approach. A large amount of waste from the processing of gold deposits located in productive areas withdrawn from the forest lands fund has a negative impact on the components of the ecosystem. In this regard, the purpose of the study was to create a nature-like technology that allows preserving and restoring the productivity of disturbed gold mining lands to ensure their environmental safety. The object of the study was a technogenic system within the boundaries of the influence of the ceased to exist mining enterprise "Kerbinsky mine" of the P. Osipenko district (P. Briakan) of the Khabarovsk Territory. The research uses generally accepted methods, as well as remote sensing of the Earth (remote sensing), GIS technologies and mathematical apparatus. Remote sensing made it possible to identify disturbed territories on various geo-substrates, on multispectral combined images and NDVI index image. Using the QGIS program, an analysis of the dynamics of the transformation of disturbed lands was carried out and their area was calculated. It has been established that toxic waste from the enrichment of gold deposits of the second hazard class is a source of pollution of the habitat. Pollutants, migrating from the waste of processing into the components of the biosphere, lead to their large-scale technogenic pollution. Thus, the upper horizon of technogenic soils accumulates the maximum amount of toxic elements (mg/kg): Cu – 454, Zn – 1241, Pb – 934, which is significantly higher than the background values from 3 to 9 or more times. The calculations of the value of the vegetation index NDVI showed that the study area can be classified as highly toxic, belonging to the I category of environmental risks. The NDVI value in the technogenic territory ranged from 0.034 to 0.063, which indicates a weak degree of restoration of forest vegetation. Based on the analysis of the results obtained, new technological solutions are proposed, confirmed by Patents of the Russian Federation.

Keywords: disturbed lands, conservation and restoration, gold mining, productivity, innovation approach

Format of citation: Filatova M.Yu., Krupskaya L.T., Leonenko A.V., Kocharyan Yu.G. Preservation and restoration of productivity of disturbed gold mining lands using an innovative approach // Prirodobustrojstvo. 2023. № 1. P. 6-12 DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-6-12.

Введение. В настоящее время одним из основных регионов по добыче россыпного золота в России является Хабаровский край. На его территории в государственном балансе учтено 325 россыпных месторождений [1].

Большинство золотодобывающих предприятий, оказывающих негативное воздействие на состояние компонентов окружающей среды, расположено в бассейне биосферного значения р. Амур.

В процессе россыпной золотодобычи происходит масштабное загрязнение атмосферы, водных объектов, почв, растительности и биоты в целом, о чем свидетельствует опыт отечественных и зарубежных исследователей. Так, в статье К. Weissenstein и др. [2] рассмотрены последствия влияния добычи золота и меди, которые имеют ведущее значение в промышленности южноафриканских стран. При оценке загрязнения объектов окружающей среды отходами производства этих предприятий было учтено воздействие токсикантов и радиоактивного излучения не только на воздушный бассейн, но и на всю биосферу в целом.

Изучено загрязнение почв, лишенных растительности, в границах влияния шлюхообогатительных установок, на техногенном участке в бассейне р. Витватерсранд (Южная Африка). В результате исследований были выделены различные зоны загрязнения вокруг источников, которые в дальнейшем могут быть использованы для составления карт и отслеживания траекторий техногенного загрязнения почвы до их первоначальных источников.

В статье J. Wates и др. [3] описывается основной метод утилизации отходов в золотодобывающей промышленности на юге Африки, которым является гидравлическая переработка отходов с использованием водяных пистолетов высокого давления. Также применяется механическая переработка отходов с помощью грузовиков и экскаваторов или специальных реclaimerов.

Влияние отходов золотороссыпных месторождений оценивалось авторами Veronica Mrode Ngole-Jeme и др. [4], утверждающими, что полигоны золотодобычи представляют серьезную опасность для окружающей среды и здоровья человека, связанную с негативным воздействием соединений тяжелых металлов и металлоидов. Результаты этого исследования показывают, что риск для здоровья человека, оценивающийся с использованием коэффициента опасности (HQ), индекса хронической опасности (СНІ) и уровня канцерогенного риска, представляют: As (53,7); Cr (14,8); Ni (2,2); Zn (2,64); Mn (1,67). Особому риску подвергаются дети.

По данным дистанционного зондирования земной поверхности вдоль русла р. Амур Е.Г. Егидаревым с соавт. [5] проведено картографирование и дана оценка состояния водотоков. Авторы считают, что воздействие добычи россыпного золота на локальные участки речных долин заключается в полном разрушении биотической составляющей биоценозов и геоморфологической трансформации каналов, русел и склонов долин. Воздействие на участки

речной сети зависит от многих факторов, и его негативное влияние увеличивается в нижнем течении реки.

В работе В.М. Катола [6] рассмотрен процесс разрушения пойменно-русловых комплексов, лесов и других компонентов экосистемы при золотодобыче россыпного золота в северных районах Амурской области и указаны негативные факторы, влияющие на состояние здоровья населения горняцкого поселка.

Авторы Л.М. Павлова и др. [7] в своей статье приводят аналитические материалы исследований микрофлоры техногенных грунтов россыпной золотодобычи и ризосферных субстратов, а также пионерных растений. Выявлены такие характерные черты, как низкая численность микроорганизмов (103...105 КОЕ/г) и количественное преобладание утилизирующих минеральный азот бактерий. Установлено селективное воздействие корневых выделений растений на количественные и качественные характеристики микробных комплексов прикорневой зоны пионерных растений.

Проведенный анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта свидетельствуют о том, что в условиях ликвидированных золотодобывающих предприятий Дальневосточного федерального округа России (ДФО) названная проблема недостаточно изучена. В связи с этим цель исследований заключалась в создании природоподобной технологии, позволяющей сохранить и восстановить продуктивность нарушенных золотодобычей земель для обеспечения их экологической безопасности.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований являлась техногенная система в границах влияния прекратившего свое существование горного предприятия «Кербинский прииск» района им. П. Осипенко (п. Бриакан) Хабаровского края Дальневосточного федерального округа (ДФО). Методологической основой исследований является учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [8]. В процессе проведения исследований использованы различные методы: теоретических и экспериментальных исследований, полученных с помощью современных инструментальных и традиционных физико-химических, биологических и химических методов, рассчитанных показателей и коэффициентов (Кс, Zс, КБН), а также научного прогнозирования, статистической обработки данных, математической статистики, метод картографического моделирования. Изучение процессов почвообразования в техногенных ландшафтах осуществлялось общепринятыми методами [9-13].

Фоновый участок был выбран на расстоянии более 20 км от ШОУ с учетом «розы ветров».

Результаты и их обсуждение. Применение космических снимков Landsat 8 с ресурса Glovis и их дешифрирование в программе QGIS3.18 с разными спектральными диапазонами (755, 652, 765, 543, 452) (рис. 1) показало, что площадь нарушенных территорий в границах техногенной системы возросла за 10 лет более чем в два раза: с 494,4 га в 2011 г. до 1116,8 га в 2021 г. [14].

Выявлено, что кроме высокой степени механической нарушенности, почвы района исследований характеризуются катастрофической степенью техногенного загрязнения токсикантами. Изучение миграции из техногенных геохимических потоков веществ загрязнителей позволило выявить закономерности распространения соединений токсичных тяжелых металлов в техногенных почвах. Верхний горизонт техногенных почв аккумулирует максимальное количество токсичных элементов, мг/кг: Cu – 454; Zn – 1241; Pb – 934. Это значительно выше фоновых показателей в 3-9 и более раз. Выявлено снижение величины загрязняющих веществ с удалением от источника загрязнения на 8...22 км.

Исследование содержания органического вещества в техногенных почвах показало, что оно является невысоким: от 0,58 до 4%. При увеличении содержания органического вещества подвижность токсикантов (Pb, Cu, Zn) снижается, и возрастает валовая форма металлов.

Проведенный расчет суммарных показателей загрязнения (Zс) и коэффициентов концентрации (Кс) подвижных форм токсикантов в почвогрунтах техногенной и селитебной зон свидетельствует о том, что их максимальные значения выявлены вблизи источника загрязнения (Кс – от 7,01 до 7,54; Zс – от 11,31 до 11,72), а с удалением от техногенного объекта на расстояние более 20 км они снижаются. Для селитебной зоны, вблизи ШОУ, Кс составляет от 7,94 до 7,97; Zс – от 12,55 до 12,98.

Использование аппарата математической статистики и регрессионного анализа позволило сделать прогноз содержания соединений ртути в почвах исследуемого района в восточном (рис. 2) и южном направлениях (расстояние – 100 м). Прогноз

этот свидетельствует о том, что будет происходить постоянное увеличение их загрязнения, описываемое соответственно логарифмической зависимостью (формула 1) и полиномом третьей степени (формула 2) с коэффициентом детерминации $R^2_{\text{в}} = 0,8584$ и $R^2_{\text{ю}} = 0,9972$ соответственно:

$$y_{\text{в}} = 0,6113\ln(x) + 1,9267; \quad (1)$$

$$y_{\text{ю}} = 0,085x^3 - 0,8757x^2 + 2,8293x - 0,084, \quad (2)$$

где x – год поступления загрязняющего вещества в почву.

Установлено глубокое биологическое разрушение почв как компонента биогеоценоза, что подтверждает угнетенное состояние бактериального комплекса в районе исследований.

Высокая токсичность отходов привела к формированию геохимических потоков из веществ загрязнителей, оказывающих негативное влияние не только на почвы, но и на растительность и человека. Выявлены площади техногенно загрязненных участков поврежденного (угнетенного) леса, расположенного вблизи шлюхообогатительной установки, суммарная площадь которых в настоящее время составляет более 200 км². За 30 лет произошло их увеличение в 3-9 и более раз.

Расчет нормализованного вегетационного индекса (NDVI) позволил ранжировать исследуемую территорию по уровню сохранившегося здорового растительного покрова. Величина

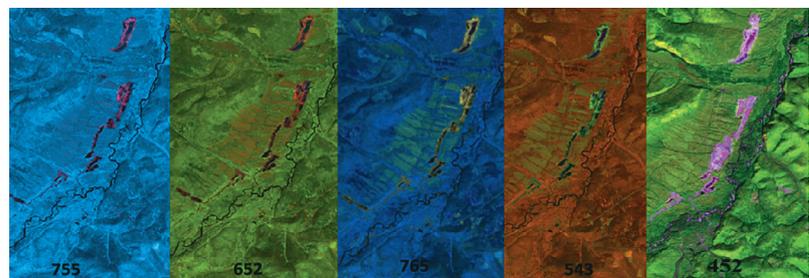


Рис. 1. Снимок спутника Landsat 8 исследуемого участка
Fig. 1. Image of the Landsat 8 satellite of the study area

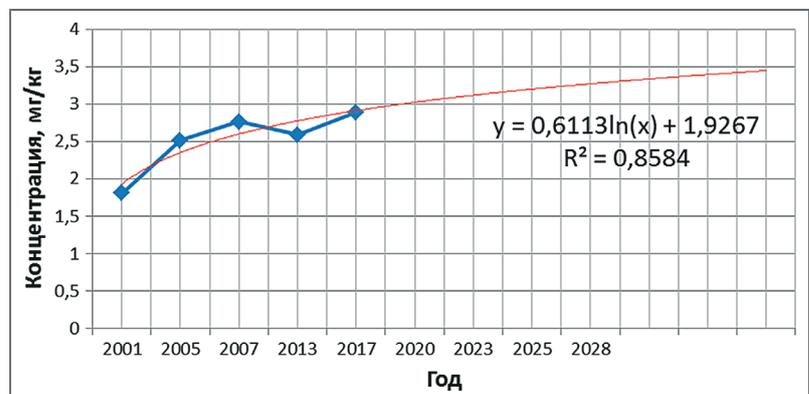


Рис. 2. Прогноз концентрации соединений ртути в почвах
Fig. 2. Projection of concentrations of mercury compounds in soils

NDVI составила от 0,034 до 0,063 и охарактеризовала техногенно нарушенные территории как сильно токсичные, относящиеся к I категории экологических рисков. На исследуемой поверхности только фрагментарно встречаются однолетние травянистые растения (6...12%).

Выявлены значительные концентрации соединений Hg, Cu, As, Zn и других токсичных загрязняющих веществ в растительности. Их максимальная величина обнаружена в таковых на расстоянии от 0,1...0,3 до 7 км и выше фона и ПДК – от 1,3 до 9 раз.

Результаты проведенных исследований позволили установить взаимосвязь между уровнем техногенного воздействия на почвы и свойствами растительных сообществ. Коэффициент биологического поглощения (КБП) для растений, как установлено нашими исследованиями, находится в прямой зависимости от наличия подвижных форм загрязнителей в почвенном растворе. Так, КБП_{zn} для валовой формы соединений цинка составляет от 0,21 до 1,95, в то время как для его подвижной формы коэффициент равен от 1,79 до 14,61.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что соединения тяжелых металлов мигрируют от отходов в техногенные почвы, сельхозпродукцию и являются угрозой здоровью населения горняцких поселков. Определение концентрации загрязняющих веществ в сельскохозяйственной продукции, произрастающей на техногенно загрязненных почвах, показало, что превышение ПДК для свежих овощей и картофеля в ней составило от 1,2 до 2,4 раза, максимальное значение (в 10 раз) характерно для соединений мышьяка. Выявлен большой аккумулялирующий эффект загрязняющих веществ ботвой картофеля и перца по сравнению с плодами и клубнями.

Таким образом, проведенные исследования показали, что субстрат является непригодным для роста и развития растений. Необходимо проведение реабилитационных работ, которые должны быть

направлены на создание новой почвоподобной технологии и формирование благоприятного корнеобитаемого слоя. В связи с этим были поставлены эксперименты в оранжерее в производственных условиях (на поверхности дражных полигонов) по разработке почвоподобной технологии [15] с применением биоремедиации (макрофитов, фототрофных бактерий, травянистых растений и др.). Поставленная задача в производственных условиях включала в себя обработку поверхности дражного полигона биоактиватором (биогумусом и биоуглем) при посеве бобово-злаковой травосмеси и посадке саженцев древесно-кустарниковой растительности. Было проведено оконтуривание исследуемой площади по периметру с водопроницаемыми бортиками и дренажными канавками, а также создана лесозащитная полоса вокруг техногенного объекта (рекультивируемой площади) (рис. 3).

Суть технологического решения заключалась в следующем: в токсичный субстрат был внесен предлагаемый состав, %: биоуголь – 30; цеолиты – 5; биогумус – 5; отходы переработки россыпной золотодобычи – 60. Произведено его перемешивание и осуществлен посев семян бобово-злаковой смеси, высажены сеянцы и саженцы деревьев и кустарников. В качестве контроля использованы токсичные отходы обогащения. Предлагаемый метод способствует улучшению водно-физических свойств рекультивированного субстрата. Здесь формируется мощный органо-генный горизонт, значение которого заключается в предотвращении эрозионных процессов



Рис. 3. Результаты рекультивации техногенно загрязненных участков разного возраста с использованием биоактиватора
Fig. 3. Results of reclamation of technogenically contaminated sites of different ages using a bioactivator

на рекультивируемой техногенной поверхности. На основе проведенных исследований предложены новые технологические решения, подтвержденные патентами РФ [16-18].

Выводы

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) позволило выявить нарушенные территории на различных геоподложках (ESRY, Google, Yandex) на мультиспектральных комбинированных снимках и индексом изображения NDVI. С использованием программы QGIS проведен анализ динамики трансформации нарушенных земель и рассчитана их площадь.

Соединения тяжелых металлов в почвогрунтах аккумулируются в поверхностном слое (на глубине 0...10 см). В почвах, отобранных на селитебной территории горняцкого п. Бриакан, обнаружено накопление соединений Pb, Cu, Zn, As, Hg, особенно в южном направлении, что связано с их миграцией.

Установлено, что в образцах техногенно загрязненного участка почва пребывает в состоянии глубокого биологического разрушения.

Список использованных источников

1. **Абрамов А.Л., Вишняк Г.В., Матвиенко Н.Н.** Хабаровский край: социально-экономическое положение и добыча россыпного золота. [Электронный ресурс]. URL: <http://assoc.khv.gov.ru/news/4802>. (Статья написана при поддержке Всемирного фонда дикой природы по проекту WWF № RU009604-18-20/6/15140.)
2. Weissenstein K, Sinkala T. Soil pollution with heavy metals of gold- and copper mining industries in southern Africa // *Аридные экосистемы*. 2011. Т. 17, № 1 (46). С. 47-54.
3. **Wates J., Götz A.** Practical Considerations in the Hydro Re-Mining of Gold Tailings // *Gold Ore Processing (Second Edition). Project Development and Operations*. 2016. Pp. 729-738. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00040-2>.
4. Veronica Mpode Ngole-Jeme, Peter Fantke. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12 (2): e0172517.
5. **Егидарев Е.Г., Симонов Е.А.** Оценка экологического воздействия добычи россыпного золота в бассейне реки Амур // *Водные ресурсы*. 2014. № 42 (7). С. 897-908. DOI: 10.1134/S0097807815070039.
6. **Катола В.М.** Добыча россыпного золота: проблемы экологии и здоровья золотодобытчиков // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2019. № 3 (11). С. 33-37. DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.33-37.
7. **Павлова Л.М., Шумилова Л.П.** Микробно-растительные сообщества в техногенных грунтах россыпной золотодобычи // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. Vol. 12-3 (63). Pp. 7-13. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-12-3-7-13.
8. **Вернадский В.И.** Биосфера. М.: Мысль, 1967. 287 с.
9. **Колесников Б.П., Моторина Л.В.** Методы изучения техногенных биогеоценозов в техногенных ландшафтах. М.: Наука, 1963. 150 с.

Выполненные расчеты значения вегетационного индекса NDVI показали, что район исследований можно отнести к сильно токсичному, к I категории экологических рисков.

Наблюдаемое слабое восстановление лесной растительности на техногенно загрязненных участках показало необходимость проведения на них рекультивационных мероприятий с применением новой, экологически безопасной природоподобной технологии.

Разработана высокоэффективная технология лесной рекультивации техногенно загрязненных участков с применением потенциала биологических систем (биоремедиации), способствующего воссозданию защитных функций лесных участков, в том числе почвенно-экологических.

Происходит значительное ускорение формирования замкнутого фитоценоза с составом насаждений, близкого к естественным древостоям, и эффективное развитие всех компонентов нарушенных ранее экосистем. Разработанное технологическое решение подтверждено патентом РФ [18].

References

1. **Abramov A.L., Vishnyak G.V., Matvienko N.N.** Khabarovskij kraj: sotsialno-ekonomicheskoe polozhenie i dobycha rossypnogo zolota [Elektronnyj resurs]: Statya napisana pri podderzhke Vsemirnogo Fonda dikoj prirody po proektu WWF № RU009604-18-20/6/15140. <http://assoc.khv.gov.ru/news/4802>.
2. K. Weissenstein, T. Sinkala. Soil pollution with heavy metals of gold- and copper mining industries in southern Africa // *Аридные экосистемы*. 2011. Том 17, № 1(46). С. 47-54.
3. J. Wates, A. Götz. Practical Considerations in the Hydro Re-Mining of Gold Tailings // *Gold Ore Processing (Second Edition). Project Development and Operations*. 2016. Pp. 729-738. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00040-2>.
4. Veronica Mpode Ngole-Jeme, Peter Fantke. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12(2): e0172517.
5. **Egidarev E.G., Simonov E.A.** Otsenka ekologicheskogo vozdejstviya dobychi rossypnogo zolota v bassejne reki Amur // *Vodnye resursy*. 2014. № 42(7). С. 897-908. DOI: 10.1134/S0097807815070039
6. **Katola V.M.** Dobycha rossypnogo zolota: problemy ekologii i zdorov'ya zolotodobytchikov // *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. – 2019. № 3(11). S. 33-37. DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.33-37
7. **Pavlova L.M., Shumilova L.P.** Mikrobno-rastitelnye soobshchestva v tehnogennyh gruntah rossypnoj zolotodobychi // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. Vol. 12-3(63). – Pp. 7-13. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-12-3-7-13
8. **Vernadskij V.I.** Biosfera. M.: Mysl, 1967. 287.s.
9. **Kolesnikov B.P., Motorina L.V.** Metody izucheniya tehnogennyh biogeotsenozov v tehnogennyh landshaftah. M.: Nauka, 1963. 150 s.

10. ГОСТ 17.4.3.01. –83 (СТ СЭВ 3847-82). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. 4 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012800>.

11. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой и водной вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. 4 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023490>.

12. ГОСТ 27262-87. Корма растительно-го происхождения. Методы отбора проб. 9 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024371>.

13. **Черных Н.А., Сидоренко С.Н.** Экологический мониторинг в биосфере. М.: Изд-во РУНД, 2003. 430 с.

14. **Крупская Л.Т., Леоненко А.В., Зверева В.П. и др.** Комплексная экологическая оценка влияния россыпной золотодобычи на состояние окружающей среды с использованием инновационного подхода: монография / Науч. ред. В.Т. Тагирова. Хабаровск: Изд-во ФГБОУ ВО ДВГМУ Минздрава России, 2022. 196 с.

15. **Яковлев А.С., Решетина Т.В., Сизов А.П. и др.** Управление качеством городских почв: методическое пособие / Под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева. М.: МАКС Пресс, 2010. 96 с.

16. Способ рекультивации поверхности хвостохранилища, содержащего токсичные отходы, с использованием фототрофных бактерий: Пат. RU 2569582 C1 РФ / Крупская Л.Т., Кириенко О.А., Майорова Л.П., Голубев Д.А., Онищенко М.С.: заяв. 12.08.2014.; опубл. 27.11.2015. Бюл. № 33.

17. Состав для снижения пылевой нагрузки на экосферу и рекультивации поверхности хвостохранилища: Пат. RU 2707030 C1 / Крупская Л.Т., Ищенко Е.А., Голубев Д.А., Колобанов К.А., Растанина Н.К.: заяв. 13.05.2019; опубл. 21.11.2019. Бюл. № 33.

18. Состав для рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья: Пат. RU 2783893 C1 / Крупская Л.Т., Леоненко Н.А., Леоненко А.В., Колобанов К.А., Филатова М.Ю. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (RU), ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (RU): заяв. 2021129031, 04.10.2021; опубл. 21.11.2022. Бюл. № 33.

Критерии авторства

Филатова М.Ю., Крупская Л.Т., Леоненко А.В., Кочарян Ю.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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.12.2022

Одобрена после рецензирования 11.01.2023

Принята к публикации 15.01.2023

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

10. GOST 17.4.3.01. –83 (ST SEV 3847-82). Ochrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob. 4 s.

11. GOST 26483-85. Pochvy. Prigotovlenie solevoy i vodnoy vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu TSINAO. 4 s. <https://docs.cntd.ru/document/1200023490>

12. GOST 27262-87. Korma rastitelnogo proiskhozhdeniya. Metody otbora prob. 9 s. <https://docs.cntd.ru/document/1200024371>

13. **Chernyh N.A., Sidorenko S.N.** Ekologicheskij monitoring v biosfere. – M.: Izd-vo RUND, 2003. – 430 s.

14. **Krupskaya L.T.** Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka vliyaniya rossypnoj zolotodobychi na sostoyanie okruzhayushchej sredy s ispolzovaniem innovatsionnogo podhoda: monografiya / L.T. Krupskaya, A.V. Leonenko, V.P. Zvereva i dr. [nauch. red. V.T. Tagirova]. Khabarovsk: Izd-vo FGBOU VO DVG MU Minzdrava Rossii, 2022. 196 s.

15. **Yakovlev A.S.** Upravlenie kachestvom gorodskih pochv: metodicheskoe posobie / Yakovlev A.S., Reshetina T.V., Sizov A.P., i dr. / Pod obshch. red. S.A. Shoby i A.S. Yakovleva. M.: MAKS Press, 2010. 96 s.

16. Sposob rekul'tivatsii poverhnosti hvostohranilishha, sodержashchego toksichnye othody, s ispolzovaniem fototrofnih bakterij: pat. RU 2569582 C1 RF / Krupskaya L.T., Kirienko O.A., Majorova L.P., Golubev D.A., Onishchenko M.S. zayav. 12.08.2014. opubl. 27.11.2015. Byul. № 33.

17. Sostav dlya snizheniya pylevoj nagruzki na ekosferu i rekul'tivatsii poverhnosti hvostohranilishcha: pat. RU 2707030 C1 / Krupskaya L.T., Ishchenko E.A., Golubev D.A., Kolobanov K.A., Rastanina N.K. zayav. 13.05.2019. opubl. 21.11.2019. Byul. № 33.

18. Sostav dlya rekul'tivatsii poverhnosti hvostohranilishch, sodержashchih toksichnye othody pererabotki mineralnogo syr'ya. Pat. RU 2783893 C1 / Krupskaya L.T., Leonenko N.A., Leonenko A.V., Kolobanov K.A., Filatova M.Yu. / patentoobladatel FGBOU VO «Tihookeanskij gosudarstvennyj universitet» (RU), FBU «Dalnevostochnyj nauchno-issledovatel'skij institut lesnogo hozyajstva» (RU), zayavka 2021129031, 04.10.2021, Opublikovano: 21.11.2022. Byul. № 33

Criteria of authorship

Filatova M.Yu., Krupskaya L.T., Leonenko A.V., Kocharyan Yu.G. 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.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

The article was submitted to the editorial office 12.12.2022

Approved after reviewing 11.01.2023

Accepted for publication 15.01.2023

Contributions of the authors. All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Оригинальная статья

УДК 631.67

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-13-20



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Юрченко Ирина Федоровна, д-р техн.наук, доцент, главный научный сотрудник

SPIN-код: 4009-3975, AuthorID: 128791; irina.507@mail.ru

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

Аннотация. Необходимость орошаемого земледелия в Республике Крым обусловлена природно-климатическими условиями территории, для которых характерны дефицит увлажнения при высоком уровне теплообеспеченности. Цель исследований – аналитическая оценка современного состояния орошаемого земледелия полуострова, успешности его дальнейшего развития и воспроизводства с максимальным учетом природно-ресурсного потенциала территории и имеющегося опыта использования орошаемых земель. Методическую основу работы составляли: информационно-аналитический, системный и сравнительный подходы; сбор, обобщение и синтез полученных данных; статистическая, экспертная и эвристическая оценки. Анализ развития и эффективности агропроизводства на орошаемых землях республики выявил существенные недостатки их использования. Из общей площади орошаемых земель поливается порядка 24 тыс. га, то есть не более 5%, что связано как с ограниченностью водных ресурсов, так и с изношенностью на 80% основных фондов, отсутствием необходимой дождевальной техники, разукомплектованностью насосных станций и т.п. Показано, что природно-ресурсный потенциал территории реализован неполностью. Урожайность зерновых и зернобобовых культур на орошении может превышать фактически достигнутую в 1,5-2 раза. Установлен рост площадей орошаемых земель с неудовлетворительными показателями по осолонцеванию. Представлены первоочередные мероприятия повышения эффективности мелиоративного сектора экономики, включающие в себя комплексную рационализацию использования водных ресурсов территории с учетом экономической, социальной и экологической составляющих. Его реализация должна выполняться вне зависимости от возобновляющейся подачи воды в Северо-Крымский канал.

Ключевые слова: орошение, эффективность, площадь полива, мелиоративное состояние, технико-технологические показатели оросительной сети и сооружений, урожайность агроценозов

Формат цитирования: Юрченко И.Ф. Использование орошаемых земель Республики Крым в условиях дефицита водных ресурсов // Природообустройство. 2023. № 1. С. 13-20. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-13-20.

© Юрченко И.Ф., 2023

Original article

USE OF IRRIGATED LANDS OF THE REPUBLIC OF CRIMEA IN THE CONDITIONS OF WATER RESOURCES DEFICIT

Yurchenko Irina Fedorovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher

SPIN-код: 4009-3975, AuthorID: 128791; irina.507@mail.ru

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, bldg.2. Russia

Annotation. The need for irrigated agriculture in the Republic of Crimea is due to the natural and climatic conditions of the territory, which are characterized by a moisture deficit with a high level of heat supply. The purpose of the research: an analytical assessment of the current state of irrigated agriculture in the Republic of Crimea and the success of its further development and reproduction, taking into account the natural resource potential of the territory and the existing experience of positive and negative approaches to the use of irrigated lands. The object of research is the crop production

system of the agro-industrial complex, the subject of research is agricultural production on irrigated lands. The research material was the data of statistical reporting of agricultural and water management organizations of the republic; publications on the results of theoretical study and practice of the use of reclaimed lands, which are in the open press; as well as the author's own work. The methodological basis of the research was: information-analytical, systematic and comparative approaches; analysis, generalization and synthesis of the obtained data; statistical, expert and heuristic evaluations. The analysis of the development and efficiency of agricultural production on the irrigated lands of the republic revealed significant shortcomings in their use. Of the total area of irrigated land, about 24 thousand hectares are irrigated, i.e. no more than 5%, which is associated both with limited water resources and with depreciation of 80% of fixed assets, lack of necessary sprinkler equipment, understaffing of pumping stations, etc. It is shown that the natural resource potential of the territory is not fully realized. The average yield of cereals and leguminous crops under irrigation can exceed the actual one by 1.5-2 times. An increase in the area of irrigated lands with unsatisfactory indicators of alkalization has been established. The priority measures for rational water use in the reclamation sector of the economy of the Republic of Crimea are presented, including a set of measures for the effective use of water resources of the territory, taking into account economic, social and environmental components. Its implementation is necessary regardless of the renewed supply of Dnieper water to the North Crimean Canal.

Keywords: irrigation, efficiency, irrigation area, reclamation state, technical and technological indicators of the irrigation network and structures, productivity of agroecosystems

Format of citation: Yurchenko I.F. Use of irrigated lands of the Republic of Crimea in the conditions of water resources deficit. // Prirodoobustroystvo. 2023. No.1. S. 13-20. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-13-20.

Введение. Полуостров Крым расположен в зоне недостаточного увлажнения с высоким уровнем теплообеспеченности, что обуславливает необходимость орошаемого земледелия, увеличивающего объем агропродукции за счет роста продуктивности мелиорируемых земель с учетом их региональных особенностей.

Для становления высокоразвитого агропроизводства в Крыму в 60-80-е гг. XX в. был создан мощный мелиоративный водохозяйственный комплекс, ключевым сооружением которого был Северо-Крымский канал (СКК).

Межхозяйственная оросительная сеть представлена открытыми каналами и закрытыми трубопроводами протяженностью свыше 1,5 тыс. км; каскадом перекачивающих насосных станций, подающих воду во внутрихозяйственную оросительную сеть, и другими важными объектами. Это ликвидировало в регионе дефицит водоподачи на орошение на многолетний период.

После прекращения поступления в СКК днепровской воды, с 2014 г. до настоящего времени, земледелие полуострова функционировало в условиях острого дефицита водных ресурсов, что отрицательно сказалось на объемах производства сельскохозяйственной продукции с орошаемых земель.

В связи с возобновившейся возможностью забора воды из СКК роль орошаемого земледелия, как ведущего сектора растениеводства АПК Республики Крым, существенно возрастает. Отдача орошаемого земледелия проявляется в значительном снижении зависимости агропроизводства

от климатических факторов и в улучшении почвенных условий. Орошение меняет направленность сельскохозяйственного производства, повышает удельные нагрузки на работников, изменяет потребность в технике, оборудовании, машинах и механизмах.

Эффективное использование орошаемых земель, наиболее продуктивных и в тоже время максимально капиталоемких, является актуальной задачей мелиорируемого агропроизводства.

Цель исследований: аналитическая оценка современного состояния орошаемого земледелия Республики Крым (РК), успешности его дальнейшего развития воспроизводства с максимальным учетом природно-ресурсного потенциала территории и имеющегося опыта положительных и негативных подходов к использованию орошаемых земель.

Материалы и методы исследований. Материалом исследований служили: данные статистической отчетности сельскохозяйственных и водохозяйственных организаций республики; публикации в открытой печати о результатах теоретического изучения и практики использования мелиорированных земель; собственные работы автора.

Методическую основу исследований составляли: информационно-аналитический, системный и сравнительный подходы; анализ, обобщение и синтез полученных данных; статистическая, экспертная и эвристическая оценки.

Результаты и их обсуждение. Согласно данным Федеральной службы государственной

регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) площадь земельного фонда Республики Крым в 2021 г. составляла 2608,1 тыс. га, из них 1532,5 тыс. га, или 58,6%, – земли сельскохозяйственного назначения.

По данным Министерства сельского хозяйства Республики Крым, в структуре площадей сельскохозяйственных угодий по состоянию на 01.01.2021 г. преобладают пашня, занимающая 71,9%, и пастбища, составляющие 22,4% (рис. 1).

Развитие и эффективность агропроизводства на орошаемых землях в значительной мере обусловлены ситуацией с водоподачей Северо-Крымского оросительного канала предприятиям агропромышленного комплекса. По состоянию на 1 января 2015 г. (до прекращения поступления днепровской воды) площадь орошаемых земель сельскохозяйственного назначения в Республике Крым составляла 397,3 тыс. га. Динамика площадей полива в период 2009-2020 гг. представлена на рисунке 2 [2].

Площадь поливных земель в 2014 г. сократилась в 8 раз в сравнении с итогами поливного сезона 2013 г. и составила 17,3 тыс. га. В 2015 г. ситуация не улучшилась, и площадь полива в размере 10,4 тыс. га определила исторический минимум за предшествующий 30-летний период орошаемого земледелия региона. После 2016 г. наметились положительные изменения поливных площадей, достигших к 2020 г. 21,4 тыс. га. В 2020-2021 гг. увеличились поливы на площади 3,6 тыс. га. При этом осуществлялось перераспределение водных ресурсов не только в границах республики, но и в отдельно взятых сельскохозяйственных предприятиях. Особое внимание уделялось разработке новых и оптимизации использования действующих артезианских источников [3].

К позитивным факторам водопользования в условиях дефицита водных ресурсов следует отнести развитие водосберегающих технологий

орошения, в частности, капельного полива [4, 5]. Соотношение общей площади полива и площади с капельным поливом в 2014 и 2020 гг. составили соответственно 121 и 170%.

В 2021 г. государственная поддержка в формате субсидий была оказана сразу 38 сельхозпроизводителям различной форм собственности и направленности агропроизводства в размере 370 млн руб. именно на нужды мелиорации. К примеру, два флагмана отрасли (ООО «Крым-Фарминг» и СПК «Каркинитский») получили порядка 50 млн руб., что обеспечило ввод в эксплуатацию 750 га орошаемых земель, предназначенных под кормовые культуры [6].

В настоящее время в Республике Крым поливается чуть более 24 тыс. га, что не превышает 5% общего количества мелиорированных земель. Это связано не только с ограниченностью водных ресурсов, но и с состоянием оросительных сетей, отсутствием необходимого количества дождевальная техники, разуклоплектованностью насосных станций и подобными ситуациями, вызванными неудовлетворительной, вплоть до полного отсутствия, эксплуатацией. Если межхозяйственная мелиоративная сеть по большей мере сохранена и может обеспечить подачу воды для полива сельскохозяйственных культур на площади не менее 284 тыс. га, то внутрихозяйственная сеть на площади порядка 180 тыс. га земель требует восстановления и реконструкции [4, 7, 8]. Незамедлительное решение этой сложной задачи актуализируется в свете открывающихся возможностей развития орошения в Крыму при полнокровно функционирующем Северо-Крымском канале.

В период максимального развития орошения и вплоть до 2014 г. в Крыму традиционно ведущими культурами агропроизводства были рис, виноград и бахчевые. Регион обеспечивал до 30% рисом, потребляемым тогда еще Украиной. После

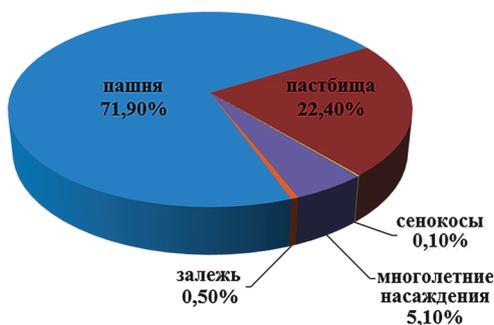


Рис. 1. Структура сельскохозяйственных угодий Республики Крым [1]

Fig. 2. Structure of agricultural land of the Republic of Crimea [1]

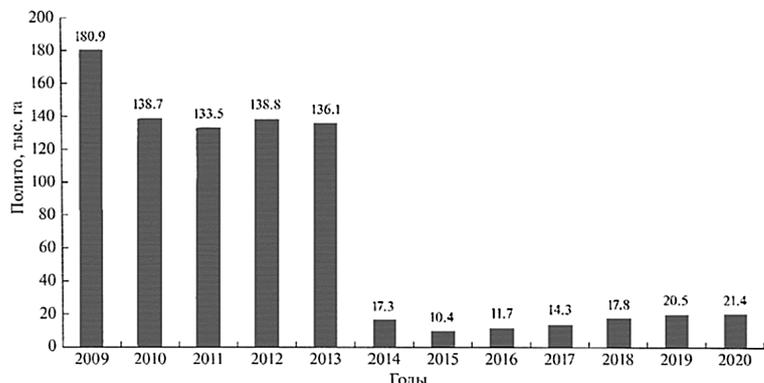


Рис. 2. Динамика поливных земель РК в 2009-2020 гг. [2]

Fig. 2. Dynamics of irrigated lands of the Republic of Crimea in 2009-2020 [2]

блокады Северо-Крымского канала выращивания риса фактически свелось к нулю. К 2017 г. профильно занимавшиеся рисосеянием территории значительно обезлюдели, аграрии покидали населенные пункты практически целиком.

В 2022 г. ситуация с производством риса в Крыму существенно не улучшилась. Вместе с тем планы правительства республики и непосредственных сельхозтоваропроизводителей обнадеживают. По мнению многих аналитиков и экспертов, восстановить рисовые плантации в докризисном объеме можно к лету 2024 г., причем 2023 г. становится переломным. Необходимым фактором успешного решения проблемы является сохранение и дальнейшее развитие эффективного частно-государственного партнерства и сотрудничества. Кроме поддержки сферы мелиорации, хозяйствам необходима помощь в приобретении семян высокосортной селекции, техники, удобрений и других материально-технических ресурсов, что изначально потребует затрат государства в форме субсидий.

Серьезные изменения, обусловленные антиалкогольной кампанией 90-х гг. прошлого века и снижением водообеспеченности орошаемых земель с 2014 г., претерпело виноградарство полуострова Крым. Крымские вина хорошо известны не только на территории бывшего СССР, но и далеко за его пределами. Однако виноградники, как ни одна другая культура, требовательны к режиму орошения, в равной мере негативно реагируя на отклонения от потребности поливных норм, сроков и регулярности выполняемых поливов. Только при неукоснительном соблюдении указанных требований к орошению можно получить виноград необходимого качества для производства элитных вин.

Украинская власть и бизнесмены не уделяли виноделию должного внимания, поэтому оно постепенно угасало как эффективное направление агропроизводства полуострова. С приходом в регион России ситуация начала изменяться в лучшую сторону, появились новые виноградники, орошаемые чаще всего из новых

артезианских источников. Начиная с 2020 г. местные производители потенциально готовы разливать до 50 млн декалитров тихих вин. Этот показатель превышает уровень, достигнутый Украиной до 2014 г.

Северные регионы Крыма издревле славились своими арбузами и дынями, их урожайность до 2014 г. была достаточно высокой, чтобы обеспечивать бизнесу требующуюся рентабельность. Позднее ситуация кардинально изменилась, и площади под бахчевые культуры резко сократились. К примеру, в 2021 г. это было лишь 12 тыс. га в противовес 34 тыс. га до 2014 г., когда еще активно работал Северо-Крымский канал. Для бахчевых культур артезианские источники не всегда приемлемы, поскольку не способны обеспечить поливы больших производственных площадей. По этой причине выращиванием арбузов и дынь сегодня занимаются пока только небольшие фермерские хозяйства.

Структура орошаемых земель республики в целом по состоянию на 2021 г. приведена в таблице 1 [9].

Данные таблицы свидетельствуют о том, что после перехода Крыма под российскую юрисдикцию направленность агропроизводства изменилась в пользу зерновых культур как наиболее рентабельных. Урожайность зерновых и зернобобовых культур с учетом кукурузы по Республике Крым в сравнении с результатами, полученными на орошаемых землях, представлена в таблице 2.

Вместе с тем, по мнению специалистов, природно-ресурсный потенциал территории реализован неполностью, средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур на мелиоративных землях при грамотном хозяйственном подходе и обеспечении эффективной работы Северо-Крымского канала должна достигать 70 ц/га, а по озимой пшенице – не менее 80 ц/га [10, 11]. В части продуктивности риса, который пока производится в небольших объемах, но планируется к широкому распространению, как это было до 2014 г., то она может и должна достигать 70 ц/га.

Таблица 1. Структура орошаемых земель Республики Крым [9]

Table 1. Structure of irrigated land of the Republic of Crimea [9]

Культуры <i>Crops</i>	Процент от общей орошаемой площади / Percentage of the total irrigated area	
	2014 год	2021 год
Зерновые / <i>Cereals</i>	48	54
Кормовые / <i>Fodder</i>	22	20
Овощи / <i>Vegetables</i>	4	3
Сады / <i>Gardens</i>	5	4
Виноградники / <i>Vineyards</i>	1	1
Прочие культуры / <i>Other crops</i>	20	18

Таблица 2. Урожайность зерновых и зернобобовых культур [9]

Table 2. Yield of cereals and leguminous crops [9]

Район Region	2014 год		2021 год	
	среднестатистический показатель, ц/га statistical average, c/ha	на орошении, ц/га on irrigation, c/ha	среднестатистический показатель, ц/га statistical average, c/ha	на орошении, ц/га on irrigation, c/ha
Бахчисарайский / Bakhchisaraysky	18,7	27,4	20,8	30,7
Джанкойский / Dzhankoysky	20,7	29,2	22,1	31,9
Кировский / Kirovsky	19,3	28,0	22,2	32,4
Красногвардейский / Krasnogvardeysky	24,1	34,0	27,1	37,0
Красноперекопский / Krasnoperekopsky	24,8	32,1	26,9	35,7
Ленинский / Leninsky	24,8	36,2	27,0	36,2
Нижегородский / Nizhnegorsky	21,5	30,2	22,9	33,1
Первомайский / Pervvomajsky	20,7	28,7	22,8	31,5
Раздольненский / Razdolnensky	19,0	27,6	21,3	31,6
Сакский / Saksy	24,9	33,9	27,1	37,6
Симферопольский / Simferopolsky	25,2	31,3	27,8	36,4
Советский / Sovetsky	24,0	31,0	26,1	35,9
Черноморский / Chernomorsky	20,9	27,6	23,1	33,6
Симферополь / Simferopol	14,1	22,2	25,8	35,5
Армянск / Armysk	11,3	20,7	13,6	32,8
Феодосия / Feodosiya	14,1	22,8	16,0	25,4

Ранее на орошаемых землях, занимающих 22% всех земельных угодий, получали 50% всей валовой продукции растениеводства. Урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях в период с 1986 по 1990 гг. в среднем превышала урожайность на богаре более чем в 1,5 раза [12].

Анализ современных реалий агропроизводства Республики Крым показал высокую зависимость его результатов от погодных условий, что свидетельствует о необходимости повышения устойчивости сельского хозяйства республики, и прежде всего – за счет возможностей оросительных мелиораций. Так, в 2020 г. в республике было собрано порядка 908 тыс. т зерна во всех его формах. Этот год, как и 2018 г., стал наиболее низкоурожайным по причине продолжительной засухи, приведшей в конечном счете к потере практически 40% урожая зерновых. Продуктивность подсолнечника также сократилась на 38%, и на 11% снизился объем производства картофеля.

Общий объем производства сельскохозяйственной продукции в 2021 г. в ценовом исчислении возрос на 19,3% по сравнению с 2020 г. и составил 71545,9 млн руб. Максимальное увеличение продукции агропроизводства отмечается в крестьянских (фермерских) хозяйствах (рис. 3).

Прирост продукции обусловлен благоприятными погодными условиями для возделывания зерновых культур и увеличением площадей посадки картофеля сортов раннего и среднего сроков созревания. Однако в животноводческом секторе АПК Республики Крым негативная тенденция сохранилась (рис. 4) уменьшением поголовья коров, а также снижением продуктивности молочного стада, вызванного низким качеством и недостаточным количеством кормов.

Поиск методов решения задач по обеспечению водной безопасности Крымского полуострова должен выполняться на основе исторического опыта, сложившейся практики

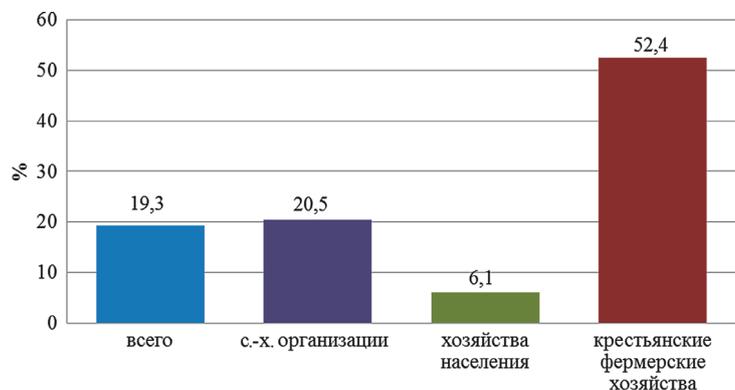


Рис. 3. Рост производства продукции сельского хозяйства в 2021 г. (в сравнении с 2020 г.)

Fig. 3. Growth of agricultural production in 2021 (in comparison with 2020)

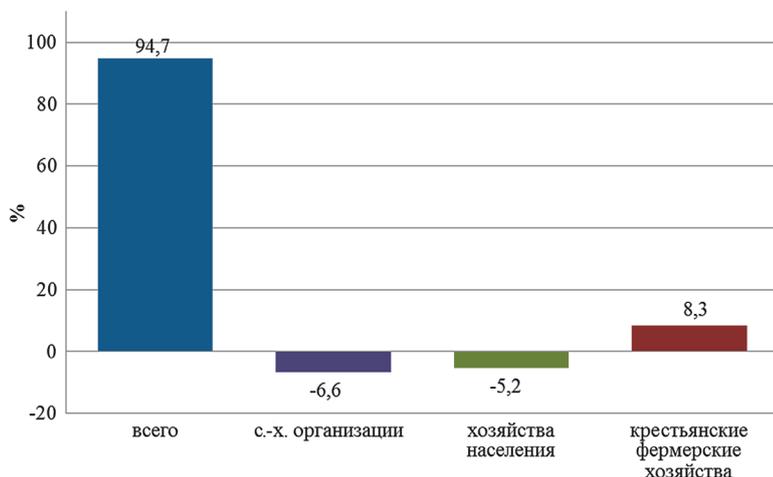


Рис. 4. Производство в 2021 г. продукции животноводства в Республике Крым (в сравнении с 2020 г.)

Fig. 4. Production in 2021 of livestock products in the Republic of Crimea (in comparison with 2020)

и современных подходов к трансформации водопользования в вододефицитных регионах с учетом научной обоснованности водохозяйственных решений и принципов интегрированного управления водными ресурсами с ориентацией на максимальную актуализацию потенциала водообеспеченности своего региона [13-15].

Следует отметить, что многолетняя бездефицитная обеспеченность орошения в Крыму пагубно сказалась на культуре водопользования и практике применения водосберегающих агротехнологий. Фактический КПД Северо-Крымского канала не соответствовал проектному, потери на испарение и фильтрацию достигали 40%. Не лучшим образом использовалась межхозяйственная и внутрихозяйственная водопроводящая сеть. Утечки, повышенная фильтрация и сбросы были спутниками орошения и не способствовали улучшению эколого-мелиоративной ситуации орошаемых агроценозов и экологической ситуации прилегающей к ним земель.

В настоящее время в сфере агропроизводства республики формируется судьбоносное понимание необходимости становления системы рационального водопользования, включающей в себя комплекс мер, способствующих эффективному использованию всех имеющихся водных ресурсов территории с учетом экономической, социальной и экологической составляющих его реализации. Это находит отражение в нормативно-правовой практике развития мелиоративного сектора АПК Республики Крым, предусматривающей также приоритетное проведение технической и технологической модернизации основных фондов мелиоративного водохозяйственного комплекса полуострова. Для

достижения поставленной цели была разработана государственная программа развития сельского хозяйства в Республике Крым до 2025 года [16].

С 2022 по 2026 гг. в республике запланировано вовлечение в оборот более 3000 га земель сельхозназначения в соответствии с намечаемой стратегией и перспективами развития мелиоративного комплекса. Сокращение потерь от забора воды за счет более эффективной ее подачи, распределения и использования различными потребителями уменьшает водопотребление, что фактически создает новый источник водоснабжения. В результате увеличиваются объемы доступных водных ресурсов, что снижает риски водных

дефицитов. Уменьшение водопотребления также приводит к снижению антропогенной нагрузки на водные объекты, что создает условия для сохранения водных ресурсов и улучшения качества воды [17-19].

К приоритетным мероприятиям системы рационального водопользования орошения, способствующего снижению вплоть до полной ликвидации дефицита региональных водных ресурсов и экономии поливной воды в Крыму, относятся [20-22]:

- * совершенствование видового состава сельскохозяйственных культур и используемых агротехнологий растениеводства на орошаемых землях;

- * применение водосберегающих технологий полива и поливной техники;

- * снижение потерь на испарение и фильтрацию при транспортировке и хранении аккумулярованной воды;

- * очистка и использование для орошения земель в сельском хозяйстве канализационных стоков городов и поселков;

- * внедрение систем оборотного и повторно-последовательного орошения;

- * сокращение технологических потерь и непроизводительных трат воды;

- * максимальное оснащение водозаборных и водоотводящих сооружений средствами учета воды;

- * использование инновационных технологических процессов управления системным водопользованием и межсистемным водораспределением на орошаемых землях;

- * создание эффективных социально-экономических механизмов, стимулирующих активное внедрение прогрессивных водосберегающих

технологий производства растениеводческой продукции.

Организация процесса орошаемого земледелия должна выполняться с учетом того, что орошение является процессом интенсификации агропроизводства. Орошение нерационально при низком уровне внесения удобрений, защиты растений, агротехники и подобных технологических процедур. Технология возделывания сельскохозяйственных культур – определяющий фактор повышения продуктивности используемых земель.

Активную разработку и внедрение мероприятий рационального водопользования в сфере мелиоративного водохозяйственного комплекса АПК Республики Крым следует выполнять независимо от возобновляющейся подачи днепровской воды.

Список использованных источников

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2021 г. / Совет министров Республики Крым, Мин-во экологии и природных ресурсов. Симферополь, 2022.
2. **Волкова Н.Е., Иванютин Н.М., Тарасенко В.С. и др.** Рациональное водопользование в Республике Крым: значение, ограничение, подходы к достижению // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 4. С. 372-381.
3. **Демин А.П., Зайцева А.В., Харламов М.А.** Водопотребление и водоотведение в муниципальных образованиях Республики Крым и г. Севастополь: современное состояние и проблемы // Водные ресурсы. 2022. № 4. С. 397-408.
4. **Ляшевский В.И.** Водообеспечение сельскохозяйственной отрасли Крыма: текущая ситуация и перспективы / Тищенко А.П., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М. // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 120-125.
5. **Данилов-Данильян В.И.** Научное обеспечение водной безопасности Крыма: проблемы и решения / Козлова М.А., Полянин В.О., Чеснокова И.В. // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 4. С. 363-371.
6. Сайт аналитического Центра Минсельхоза России. URL: <http://www.mcx.gov.ru> (дата обращения: 20.08.2022).
7. **Николенко И.В., Копачевский А.М.** Основные направления разработки комплекса мер по решению проблем дефицита воды в Крыму // Строительство и технологическая безопасность. 2021. Вып. 21 (73). С. 115-133
8. Экономически значимая региональная программа в области растениеводства: Ведомственная целевая программа: утв. приказом Министерства сельского хозяйства Республики Крым от 19 апреля 2016 г. № 178. URL: <https://msh.rk.gov.ru/ru/structure/464>.
9. Управление федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю (Крымстат). URL: <https://crimea.gks.ru> (дата обращения: 23.08.2022).
10. **Драган Н.А.** Почвенные ресурсы Крыма: монография. 2-е изд., доп. Симферополь: Доля, 2019. 208 с.
11. **Половицкий И.Я., Гусев П.Г.** Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 2018. 152 с.

Выводы

В основе устойчивого социально-экономического развития Крымского региона лежит стабильное функционирование агропромышленного комплекса, базирующееся на эффективном использовании орошаемых земель. Для улучшения общей ситуации, связанной с водообеспеченностью Республики Крым, необходимо усовершенствование процесса рационального водопользования, осуществляемого на территории полуострова. Внедрение в производство современных технологий орошения, моделей дождевальной техники и оборудования позволит снизить удельное водопотребление в сельскохозяйственной отрасли, то есть будет реализован один из приоритетных технико-технологических механизмов, направленных на уменьшение дефицита водных ресурсов в Республике Крым.

References

1. Doklad o sostoyanii i ohrane okruzhayushhej sredy na territorii Respubliki Krym v 2021 g. Sovet ministrov Respubliki Krym, Ministerstvo ekologii i prirodnyh resursov, 2022. Simferopol. phyAREv5_1.pdf
2. **Volkova N.E.** Ratsionalnoe vodopolzovanie v respublike Krym: znachenie, ogranichenie, podhody k dostizheniyu / Ivanyutin N.M., Tarasenko V.S., Pashetskij V.S., Podovalova S.V. // Vodnye resursy 2022. T. 49. № 4. S. 372-381.
3. **Demin A.P., Zajtseva A.V., Kharlamov M.A.** Vodopotreblenie i vodootvedenie v muniTsipalnyh obrazovaniyah Respubliki Krym i g. Sevastopol: sovremennoe sostoyanie i problemy // Vodnye resursy. 2022. № 4. S. 397-408.
4. **Lyashevskij V.I.** Vodoobespechenie selskohozyajstvennoj otrasli Kryma: tekushchaya situatsiya i perspektivy / Tishchenko A.P., Volkova N.E., Ivanyutin N.M. // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2016. № 4(64). S. 120-125).
5. **Danilov-Daniljyan V.I.** Nauchnoe obespechenie vodnoj bezopasnosti Kryma: problemy i resheniya / Kozlova M.A., Polyaniin V.O., Chesnokova I.V. // Vodnye resursy. 2022. Tom 49. № 4. S. 363-371.
6. Sajt analiticheskogo Tsentra Minselhoza Rossii <http://www.mcx.gov.ru> (data dostupa 20.08.2022).
7. **Nikolenko I.V., Kopachevskij A.M.** Osnovnye napravleniya razrabotki kompleksa mer po resheniyu problem defitsita vody v Krymu // Stroitelstvo i tehnogennaya bezopasnost. 2021. Vyp. 21 (73). S. 115-133
8. Vedomstvennaya tselevaya programma «Ekonomicheski znachimaya regionalnaya programma v oblasti rastenievodstva».Utv. prikazom Ministerstva selskogo hozyajstva Respubliki Krym ot 19.04.2016 № 178. <https://msh.rk.gov.ru/ru/structure/464>
9. Upravlenie federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Respublike Krym i g. Sevastopolyu (Krymstat) <https://crimea.gks.ru> (data dostupa 23.08.2022).
10. **Dragan N.A.** Pochvennye resursy Kryma: nauchnaya monografiya. 2-e izd., dop. Simferopol: Dolya, 2019. 208 s.
11. **Polovitskij I.Ya., Gusev P.G.** Pochvy Kryma i povyshenie ih plodorodiya. Simferopol: Tavriya, 2018. 152 s.
12. **Sirik V.F.** Oroshaemoe zemledelie Kryma i ego problemy // Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo

12. **Сирик В.Ф.** Орошаемое земледелие Крыма и его проблемы // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2004. Т. 17 (56), № 4. С. 143-148.

13. **Юрченко И.Ф., Трунин В.В.** Совершенствование оперативного управления водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сборник научных трудов. 2014. № 53. С. 166-170. EDN SYPFBV.1.

14. **Юрченко И.Ф., Трунин В.В.** Методология и компьютерная технология поддержки решений при оперативном управлении водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // Мелиорация и водное хозяйство. 2012. № 2. С. 6-10. EDN OXGZNN.

15. **Юрченко И.Ф.** Эксплуатационный мониторинг мелиоративных систем для поддержки управленческих решений // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 4. С. 48-52. EDN UMZWIR.

16. Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя: Государственная программа Российской Федерации: утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 30 января 2019 г. № 63. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201902050011>.

17. **Кирейчева Л.В., Рекс Л.М., Юрченко И.Ф.** Структура сельскохозяйственных мелиораций в мелиоративном кадастре // Гидротехника и мелиорация. 1987. № 5. С. 6-8. EDN YHLAEX.

18. **Юрченко И.Ф.** Компьютерная технология поддержки решения как фактор реформирования системы эксплуатации в мелиорации России // Природообустройство. 2008. № 1. С. 34-40. EDN KBDTVP.

19. **Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф.** Роль мелиорации земель в решении проблемы продовольственной безопасности России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 13-15. EDN TQNGWX.

20. **Захаров Р.Ю., Волкова Н.Е.** Очищенные сточные воды как альтернативный источник наполнения прудов РК // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. Новочеркасск, 2015. № 2(58). С. 100-106.

21. Using Treated Wastewater in Agriculture. [Электронный ресурс]. URL: https://www.health.gov.il/English/Topics/EnviroHealth/Reclaimed_Water/kolchim/Pages/agriculture.aspx.

22. Water Management in Israel. Key Innovations and Lessons Learned for Water-Scarce Countries. [Электронный ресурс]. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/28097/119309-WP-PUB-LIC-56p-WcmpeProof.pdf?sequence=1>.

Критерии авторства

Юрченко И.Ф. выполнила теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 14.11.2022

Одобрена после рецензирования 19.12.2022

Принята к публикации 25.12.2022

universiteta im. V.I. Vernadskogo Seriya «GEOGRAFIYA» Tom 17 (56) № 4 (2004). S. 143-148.

13. **Yurchenko I.F., Trunin V.V.** Sovershenstvovanie operativnogo upravleniya vodoraspredeleniem na mezhhozyajstvennyh orositelnyh sistemax // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sbornik nauchnyh trudov. 2014. № 53. S. 166-170. – EDN SYPFBV.1

14. **Yurchenko I.F., Trunin V.V.** Metodologiya i kompyuternaya tehnologiya podderzhki reshenij pri operativnom upravlenii vodoraspredeleniem na mezhhozyajstvennyh orositelnyh sistemah // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. 2012. № 2. S. 6-10. – EDN OXGZNN.

15. **Yurchenko I.F.** Ekspluatatsionnyj monitoring meliorativnyh sistem dlya podderzhki upravlencheskih reshenij // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. 2004. № 4. S. 48-52. – EDN UMZWIR.

16. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federatsii «Sotsialno-ekonomicheskoe razvitie respubliky Krym i g. Sevastopolya» Utv. postanovleniem Pravitelstva Rossijskoj Federatsii ot 30 yanvarya 2019 g. N63

17. **Kirejcheva L.V., Reks L.M., Yurchenko I.F.** Struktura selskohozyajstvennyh melioratsij v meliorativnom kadastre // Gidrotehnika i melioratsiya. 1987. № 5. S. 6-8. – EDN YHLAEX.

18. **Yurchenko I.F.** Kompyuternaya tehnologiya podderzhki resheniya kak faktor re-formirovaniya sistemy ekspluatatsii v melioratsii Rossii // Prirodoobustrojstvo. 2008. № 1. S. 34-40. – EDN KBDTVP.

19. **Kirejcheva L.V., Yurchenko I.F.** Rol melioratsii zemel v reshenii problemy prodovolstvennoj bezopasnosti Rossii // Vestnik rossijskoj selskohozyajstvennoj nauki. 2015. № 2. S. 13-15. – EDN TQNGWX.

20. **Zaharov R.Yu., Volkova N.E.** Ochishchennye stochnye vody kak alternativnyj istochnik napolneniya prudov RK // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. Novoчеркасск, 2015. № 2(58). S. 100-106.

21. Using Treated Wastewater in Agriculture [Elektronny resurs]. https://www.health.gov.il/English/Topics/EnviroHealth/Reclaimed_Water/kolchim/Pages/agriculture.aspx.

22. Water Management in Israel. Key Innovations and Lessons Learned for Water-Scarce Countries [Elektronny resurs], <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/28097/119309-WP-PUB-LIC-56p-WcmpeProof.pdf?sequence=1>.

Criteria of authorship

Yurchenko I.F. carried out theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. She has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution of the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 14.11.2022

Approved after reviewing 19.12.2022

Accepted for publication 25.12.2022

Оригинальная статья

УДК 631.152.3

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-21-27



ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ – ПУТЬ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ

Ангольд Елена Владимировна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

SPIN-код: 5626-1260; AuthorID: 927399; Scopus:56436764200; angold-elena@mail.ru

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

Аннотация. Цель работы – исследование основных путей и мероприятий, направленных на рациональное водопользование путем интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) в Республике Крым. Рассмотрен мировой опыт по применению интегрированного управления водными ресурсами, на основании которого обоснована необходимость реализации комплексной задачи по эффективному управлению водными ресурсами. Республика Крым имеет достаточно ресурсов и предпосылок для внедрения системы ИУВР, в связи с чем в статье даны предложения по осуществлению рационального водораспределения, сформированные исходя из опыта зарубежных стран. Для успешной реализации принципов ИУВР в Крыму необходимо провести ряд преобразований, к которым относится в первую очередь усовершенствование действующей структуры управления, а также устранение недостатков водохозяйственного комплекса. В рамках ИУВР для улучшения текущей водохозяйственной обстановки необходимыми являются: действия по укреплению нормативно-правовой базы; меры, способствующие получению достоверной и качественной информации о водохозяйственной обстановке; мероприятия по внедрению принципов ИУВР с учетом того факта, что возобновляется поступление воды через Северо-Крымский канал. На основании вышеизложенного следует, что для успешного воплощения намеченных целей по внедрению принципов ИУВР координация деятельности по рациональному использованию водных ресурсов должна полностью принадлежать правительству в лице главных заинтересованных представителей.

Ключевые слова: интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР), водохозяйственный комплекс, эффективное управление, рациональное водопользование, Республика Крым

Формат цитирования: Ангольд Е.В. Интегрированное управление водораспределением – путь к совершенствованию водохозяйственной деятельности в Крымском регионе // Природообустройство. 2023. № 1. С. 21-27. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-21-27.

© Ангольд Е.В., 2023

Original article

INTEGRATED WATER DISTRIBUTION MANAGEMENT – THE WAY TO ENHANCE WATER MANAGEMENT ACTIVITIES IN THE CRIMEAN REGION

Angold Yelena Vladimirovna, candidate of technical sciences, senior researcher

SPIN-код: 5626-1260; AuthorID: 927399; Scopus: 56436764200; angold-elena@mail.ru

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

Annotation. Consideration of the main ways and measures aimed at rational water use through integrated water resources management (IWRM) in the Republic of Crimea is the purpose of this paper. The article considers world experience in the application of integrated water resources management, on the basis of which the need for a complex task of effective water resources management has been justified. The Republic of Crimea has sufficient resources and prerequisites for the implementation of an IWRM system; in this connection, the article presents suggestions for the implementation of rational water distribution, formed on the basis of the experience of foreign countries. For the successful implementation of the IWRM principles in the Crimea, it is necessary to carry out a number

of transformations, which first of all include the improvement of the current management structure, as well as the elimination of deficiencies in the water management complex. Within the framework of IWRM, the following actions are necessary to improve the current water situation: actions to strengthen the legal and regulatory framework; measures to facilitate the obtaining of reliable and quality information about the water situation; measures to implement IWRM principles, taking into account the fact that water flow through the North Crimean Canal is resumed. Based on the foregoing, it follows that for the successful implementation of the intended goals for the implementation of IWRM principles, the coordination of activities for the rational use of water resources should be fully owned by the government represented by the main stakeholders.

Keywords: *Integrated Water Resources Management (IWRM), the water complex, effective management, rational water use, Republic of Crimea*

Format of citation: *Angold Y.V. Integrated water distribution management – the way to enhance water management activities in the Crimean region // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 1. S. 21-27. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-21-27.*

Введение. Все большее количество стран испытывают недостаток водных ресурсов. Рост населения, экономическая эффективность и повышающийся жизненный уровень приводят к неустойчивому использованию водных ресурсов и быстрому истощению водных источников в связи с неэффективным управлением ресурсами и игнорированием экологических взаимозависимостей.

В странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии преобладающими являются отраслевые подходы, и управляющие организации обычно работают по принципу «Сверху вниз», что приводит к несогласованному и неэффективному развитию водных ресурсов. Все это говорит о том, назрела необходимость в разработке или усовершенствовании существующей нормативно-правовой базы в области водо- и землепользования.

Большинство стран – такие, как Англия, США, Япония, руководствуются ранее принятыми законами для развития орошаемого земледелия. Не исключением является и Россия, основными правовыми документами которой являются Водный кодекс и Закон о мелиорации земель [1]. Для развития орошаемого земледелия необходимы совершенствование всего механизма хозяйствования на орошаемых землях, поддержка государства и разработка научно обоснованной стратегии его развития.

Материалы и методы исследований. Неправильное управление водой при использовании ее в различных сферах деятельности человека привело к водodefициту и пониманию того, что необходимо разработать четкую концепцию комплексного управления водными ресурсами. Сформированные структуры в различных странах, в том числе в дореволюционной России, а затем и в СССР, при создании систем комплексного водопользования, например, бассейнов рек Сырдарья и Амударья и т.д.,

в начале XX в. послужили основанием для внедрения основных положений концепции ИУВР.

Одними из первых сооружений, особенностью которых являлся комплексный подход в рамках единой организации, стали Фархадский и Кайраккумский гидроузлы, возведенные на реке Сырдарья в 1930-е и 1950-е гг. Дальнейшим этапом внедрения такого подхода, при котором были учтены потребности водопользователей на всех уровнях водной иерархии, стало развитие водохозяйственного комплекса Голодной степи в 1956 г., располагавшейся в Казахстане, Таджикистане и Узбекистане.

При строительстве ирригационного комплекса было введено автоматизированное управление, проведены противофильтрационные мероприятия и т.д. Примечательно то, что все полномочия по строительству данного комплекса несла единая государственная организация «Главголодностепстрой», которая, помимо обязательств по ирригационно-мелиоративному строительству, занималась развитием инфраструктуры: строительством предприятий индустрии, автомобильных и железных дорог, систем водоснабжения, теплоснабжения, электро- и газоснабжения, а также необходимой социальной инфраструктурой. Этот проект доказал, что при правильном централизованном и комплексном подходе к управлению можно достичь невероятных показателей в развитии садоводства, овощеводства, бахчеводства, овцеводства и животноводства в условиях пустынной местности [2]. Методы, принятые при освоении крупных среднеазиатских массивов, отвечали всем принципам интегрированного управления, за исключением привлечения общественности к обсуждению принимаемых решений в водохозяйственной сфере.

Первая конференция Организации Объединенных Наций по водным ресурсам состоялась в 1977 г. в Мар-дель-Плата (Аргентина). По ее результатам был разработан первый план

действий по водным ресурсам. Его основой являлось достижение безопасных условий питьевого водоснабжения и санитарии к 1990 году, в которых было уделено пристальное внимание необходимости экономии воды и ее защите от чрезмерного использования и загрязнения [3]. Однако несмотря на то, что действия, направленные на достижение безопасных условий потребления питьевой воды и санитарии, увеличили охват услуг в области водоснабжения, они отрицательно повлияли на рост численности населения и последующее увеличение потребности водоснабжения. Это привело к пониманию того, что развитие водного сектора требует высокого уровня активных и эффективных стратегий, скоординированных на международном уровне.

По мнению ученых [4], ИУВР представляет собой комплексную задачу по эффективному управлению водными ресурсами, которая основывается на взаимодействиях всех возможных ресурсов вод и природных ресурсов в пределах гидрографических границ. Объединение всех уровней водохозяйственных организаций для управления водным сектором происходит по принципу «Снизу вверх», то есть с ориентацией на конечного потребителя, тогда как режимы подачи воды и установление лимитов формируются сверху вниз, основываясь на договорных соглашениях заинтересованных сторон [4].

Таким образом, ИУВР – это процесс, способствующий решению комплексной задачи, учитывающей всех водопользователей с различными интересами «на справедливой основе без ущерба для устойчивости жизненно важных экосистем» [5, 6]. Необходимо провести реформы по децентрализации и усовершенствованию многосторонней координации между всеми заинтересованными сторонами одновременно на национальном, региональном и местном уровнях.

ИУВР предлагает концептуальную структуру, основными целями которой являются устойчивое управление и развитие водных ресурсов [7] (рис. 1).

Результаты и их обсуждение.

Опыт стран при реализации принципов ИУВР. Непрерывные процессы экономического роста в большинстве стран мира приводят к повышению спроса на воду, производству энергии и продовольствия, создавая при этом все большую нагрузку на водные ресурсы, что вызывает их дефицит. Не является исключением и Республика Крым, в которой наблюдается значительный дефицит местных водных ресурсов. Необходим комплексный подход

к решению проблемы, предусматривающий внедрение эффективного обоснованного и сбалансированного механизма использования, охраны и воспроизводства водных ресурсов, а также внедрение системы интегрированного управления водными ресурсами по бассейновому принципу.

Опыт многих стран – таких, как Австралия, США, Израиль и т.д., по внедрению интегрированных подходов по управлению водными ресурсами свидетельствует о том, что нет единой модели управления водными ресурсами, которую можно было применить в любой стране. Рассмотрим внедрение принципов ИУВР на примере некоторых стран.

Внедрение ИУВР в бассейне рек Муррей-Дарлинг в Австралии.

Проблемы засоления земель, деградация водных экосистем, в том числе пересыхание реки, и множество других экологических сложностей являются характерными для бассейна рек Муррей-Дарлинг. Бассейн является сельскохозяйственной областью Австралии, производящей почти половину всей сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в стране. Основная река – Муррейс притоком Дарлинг пересекает такие штаты, как Новый Южный Уэльс, Виктория, Южная Австралия и Квинсленд.

Для развития эффективного водопользования, использования земельных и экологических ресурсов бассейна была разработана «Инициатива». Для достижения ее успеха определены основные факторы [8], представленные на рисунке 2.

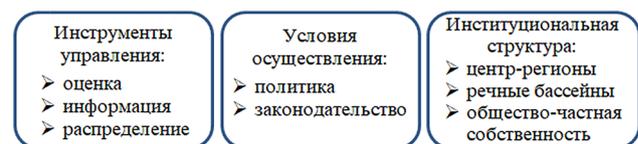


Рис. 1. Структура интегрированного управления водными ресурсами

Fig. 1. Structure of integrated water resources management



Рис. 2. Основные факторы управления бассейном Муррей-Дарлинг

Fig. 2. The main factors of management of the Murray-Darling basin

Одним из особо важных этапов в рамках реализации «Инициативы» является решение вопросов, связанных с улучшением качества воды ниже по течению и сбросом дренажных вод с верховий. Для верховых штатов введены определенные ограничения на сброс солей в реку Муррей и обязанность финансирования строительства системы перехвата грунтовых вод вдоль дренажных отводов, выполняемых другими штатами вдоль течения реки. Эти действия позволили повысить эффективность водопользования.

На основании «Инициативы» было принято соглашение, позволяющее распределять сток между штатами, и создана комиссия федеральных штатов по бассейну Муррей-Дарлинг. Согласно этому соглашению комиссия вправе контролировать сбросы из водохранилищ, расположенных выше по течению, и устанавливать режим для водопользователей бассейна [8]. В Австралии в 2008 г. федеральное правительство выкупило права по управлению водными ресурсами у Австралийского Союза, что повлекло за собой создание Управления бассейна реки Муррей-Дарлинг с реальными полномочиями по использованию водных ресурсов включая наложение санкций [9].

Опыт внедрения ИУВР в Израиле.

Ввиду того, что большую часть территории Израиля занимает пустыня, водные ресурсы страны весьма ограничены. Несмотря на это страна добилась в одной безопасности и может полностью удовлетворить свои потребности в водных ресурсах.

В Израиле была разработана полная информационная база для планирования работы водохозяйственного комплекса. В первую очередь, для мониторинга приходной части водного баланса в Израиле были созданы метеорологические службы (IMS), разветвленная сеть которых охватывает всю территорию страны. В структуру Администрации управления водных ресурсов (АУВР) входит грандиозная сеть гидрометрических станций, предназначенная для контроля качественных и количественных характеристик водных ресурсов, проверки уровня воды в скважинах, а также для определения количества солей в ней [10]. АУВР полностью контролирует распределение водных ресурсов между всеми секторами в целях обеспечения водной безопасности страны.

Израиль вложил масштабные инвестиции в инфраструктуру водообеспечения. Для удовлетворения растущего спроса на воду израильской национальной компанией по водоснабжению «Мекорот» был построен Национальный водопровод. Всеизраильский водопровод (ВИВ) строился

с целью перекачивания воды из источников, расположенных в северных районах, в малообеспеченные водными ресурсами районы страны. Однако в связи с возрастающими потребностями страны в воде через ВИВ также начали транспортировать и сточные воды, очищенные до уровня качества, близкого к питьевому, на орошение сельскохозяйственных культур, что стало дополнительным ресурсом для производства воды.

Для снижения водопотребления в Израиле действует нормирование потребления воды, основным механизмом которого является ценообразование. Использование воды сверх нормы приводит к повышению ее цены за 1 м³. Тарифы на воду также, как и квоты, устанавливаются для всех потребителей. Вид сельхозпродукции и объем, в котором она производится, подвергаются тщательному контролю со стороны правительства с целью предотвращения использования воды сверх установленного лимита. Минимальная цена в сельском хозяйстве оплачивается потребителю лишь за половину использованной воды в рамках выделенной квоты. На следующие 30% квоты цена увеличивается в 1,2 раза, а оставшаяся часть – в 1,5 раза. При применении очищенных сточных вод и слабоминерализованных вод на орошение стоимость воды снижается более чем в 2 раза от базовой цены [11].

Управление водным хозяйством Израиля опубликовало Генеральный план по обеспечению страны водой до 2050 года. Генеральный план определяет политику, направляет работу и создает инфраструктуру для применения. Он является основным документом, на основании которого разработан следующий этап – Программа развития водного сектора. Период планирования – до 2050 г. [12] с периодическим внесением изменений и дополнений.

Достиженные результаты в странах мира свидетельствуют о целесообразности применения данного опыта в Республике Крым.

Внедрение принципов интегрированного управления водораспределением в Республике Крым. Водохозяйственный комплекс Республики Крым является одним из определяющих факторов жизнедеятельности населения, всей социально-экономической, производственной и рекреационной инфраструктуры полуострова. Согласно имеющейся информации Крым по запасам местных вод считается малообеспеченным районом, так как неравномерно и недостаточно обеспечен водными ресурсами. В республике создалась реальная угроза подпитывания водоносных слоев соленой водой в связи с понижением уровня подземных вод ввиду снижения их запасов. Помимо этого, большая часть района

и сельскохозяйственных угодий находится в неблагоприятной зоне подтопления по причине неудовлетворительного технического состояния дренажа и дренажных насосных станций, невыполнения мероприятий по отведению поверхностных стоков, заиления и засорения русел рек, низкого уровня безопасности гидротехнических сооружений.

Вместе с тем Крым обладает достаточным количеством предпосылок, основными из которых являются взаимосвязь исполнительных органов власти, вовлеченных в процесс реализации вопросов водной политики, со структурами водохозяйственной отрасли, с привлечением научных институтов и общественного мнения, для успешного внедрения принципов интегрированного управления водными ресурсами [13].

В данное время в Республике Крым управление водными ресурсами основывается на бассейновом принципе с выделением гидрографических и водохозяйственных районов. Создана «Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым». В вопросах управления водораспределением участвует сформированный бассейновый совет Крымского бассейнового округа, куда вошли уполномоченные лица федеральной и государственной власти, представители научных организаций и общественности [14]. Однако анализ ряда руководств интегрированного управления водными ресурсами [15, 16] показал, что в существующей системе управления до сих пор нет точного понимания и регулирования водохозяйственных вопросов, в связи с чем встает вопрос о необходимости ее усовершенствования [17].

Не менее важной проблемой водохозяйственной деятельности в Крымском регионе, которая обострилась после перекрытия Украиной Северо-Крымского магистрального канала, является наличие большого количества не учитывающихся водопользователей. Это приводит к тому, что водохозяйственные балансовые расчеты не показывают реальную картину, что приводит к ошибкам при организации управленческих решений и усиливает конфликт интересов различных водопользователей. Поэтому для реализации принципов ИУВР в первую очередь следует принять меры, необходимые для получения достоверной и качественной информации о водохозяйственной обстановке в целом по Крыму, а именно:

- наладить строгий учет, контроль и управление по распределению поступающих вод из водообеспеченных районов в районы, испытывающие нехватку водных ресурсов, а также по экологическому состоянию водных объектов

- с назначением лиц, отвечающих за сбор и хранение информации о водораспределении;

- провести качественную инвентаризацию всех водных объектов, включая водоемы на внутрихозяйственных мелиоративных системах, с созданием единой информационно-аналитической базы.

В процессе реализации ИУВР необходимо найти всевозможные пути по укреплению нормативно-правовой базы, касающейся водопользования, увязывая это с законодательством в области сельского и коммунального хозяйства, промышленности, а также экологии, а именно:

- создать администрацию управления водными ресурсами на государственном уровне;

- усовершенствовать правовые нормы водной политики для тесного взаимодействия между региональным и локальным уровнями. Целесообразно предусмотреть мероприятия, направленные на реализацию основополагающих принципов ИУВР [14, 17], также учитывая тот факт, что возобновляется поступление воды через Северо-Крымский канал;

- разработать комплексы мероприятий по предотвращению подтоплений, заболачивания, засоления, наводнений, разрушений систем ирригации, дренажа и канализации, а также загрязнения поверхностных и подземных вод сточными водами;

- усовершенствовать меры по воспроизводству и сохранению воды на территории (создание лесозащитных полос, зон санитарной охраны, залужение в низинах, ограничение и регламентация хозяйственной деятельности в бассейнах рек и т.д.);

- провести поэтапную реконструкцию и модернизацию ирригационных систем с целью предотвращения потерь воды на внутрихозяйственной сети и внедрения водосберегающих технологий на орошаемых землях;

- обеспечить повышение уровня квалификации работников водохозяйственного комплекса и сельхозтоваропроизводителей;

- создать условия для доступа общественности к информации по имеющимся водным ресурсам и широкого обсуждения водохозяйственной деятельности.

Все это позволит рационально использовать водные ресурсы и обеспечить все отрасли необходимым объемом качественной воды.

Выводы

Основным критерием для эффективного внедрения ИУВР на полуострове Крым является то, что для обеспечения справедливого распределения водных ресурсов, а также управления

и регулирования всей инфраструктурой водообеспечения необходимые полномочия и ответственность для обеспечения справедливого распределения водных ресурсов должны быть сосредоточены в руках ответственных заинтересованных представителей.

Список использованных источников

1. **Ибатуллин С.Р.** Методологические основы и принципы использования водных ресурсов трансграничных рек для устойчивого развития: дис. ... д-ра техн. наук. Тараз, 2010. 262 с.
2. Интегрированное управление водными ресурсами в Центральной Азии: проблемы управления большими трансграничными реками. Global Water Partnership, 2014. 60 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cacena_images/publications/iwrm-ca-ttp.pdf (дата обращения: 15.09.2022).
3. **Лутц М., Копп С.-Д., Ведель М., Ибатуллин С.Р.** Тренинг по Интегрированному управлению водными ресурсами для государственных служащих Республики Казахстан: методическое руководство. [Электронный ресурс]. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Activity_1.4.3_Module_1_Political_civi_servants_RUS.pdf (дата обращения: 15.09.2022).
4. **Духовный В.А., Соколов В.И.** Интегрированное управление водными ресурсами: опыт и уроки Центральной Азии – навстречу Четвертому Всемирному водному форуму, Ташкент, 2005 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/gwp/dukhovny_sokolov_r.pdf (дата обращения: 15.09.2022).
5. Интегрированное управление водными ресурсами. [Электронный ресурс]. Программа ООН по окружающей среде. URL: [https://www.unep.org/ru/explore-topics/vodnye-resursy/nasha-deyatelnost/integrirovannoe-upravlenie-vodnymi-resursami#:~:text=:\(data%20obrashcheniya%2015.09.2022\)](https://www.unep.org/ru/explore-topics/vodnye-resursy/nasha-deyatelnost/integrirovannoe-upravlenie-vodnymi-resursami#:~:text=:(data%20obrashcheniya%2015.09.2022))
6. Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/8-1.htm> (дата обращения: 15.09.2022).
7. Интегрированное управление водными ресурсами: вода для людей и экосистем // Экологическое общество «БИОТИСА» / Общественная организация «Экоспектр». Кишинёв, 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecospectrum.org/wp-content/uploads/2018/04/> (дата обращения: 15.09.2022).
8. **Тарлок Э. Дэн.** Интегрированное управление водными ресурсами: теория и практика // Научно-практический семинар НАТО «Интегрированное управление водными ресурсами на трансграничных бассейнах – межгосударственные и межсекторальные подходы». Бишкек, 2004. 23 с.
9. Бассейн реки Мюррей-Дарлинг (Австралийский Союз). [Электронный ресурс]. URL: http://www.cawater-info.net/bk/water_law/7_1.htm (дата обращения: 26.09.2022).
10. **Озиранский Ю., Кольмакова Е.Г., Марголина И.Л.** Интегрированное управление ограниченными водными ресурсами в целях устойчивого водообеспечения аридных регионов (опыт государства Израиль) // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20, № 4 (61). С. 57-65.
11. **Орловский Н.С., Зонн И.С.** Водные ресурсы Израиля: опыт освоения // Проблемы постсоветского пространства. 2018. № 5(1). С. 8-36.

На основании вышеизложенного следует, что для успешного достижения намеченных целей по внедрению принципов ИУВР координация деятельности по рациональному использованию водных ресурсов должна полностью принадлежать правительству.

References

1. **Ibatullin S.R.** Metodologicheskiye osnovy i printsipy ispolzovaniya vodnykh resursov transgranichnykh rek dlya ustoychivogo razvitiya: dis. ... dok. tekhn. nauk: 06.01.02: utv. 26.11.2010 / Ibatullin Sagit Rakhmatullovi. Tараz, 2010. 262 s. Bibliogr.: S. 249-262.
2. Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami v Tsetralnoy Azii: problemy upravleniya bolshimi transgranichnymi rekami. – Global Water Partnership, 2014.
3. **Lutts M., Kopp S.-D., Vedel M., Ibatullin S.R.** Trening po Integrirovannomu upravleniyu vodnymi resursami dlya gosudarstvennykh sluzhashchih Respubliki Kazakhstan: metodicheskoye rukovodstvo. [Elektronnyy resurs]. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Activity_1.4.3_Module_1_Political_civi_servants_RUS.pdf (data obrashcheniya 15.09.2022).
4. **Dukhovny V.A., Sokolov V.I.** Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami: opyt i uroki Tsentralnoy Azii – navstrechu chetvertomu Vsemirnomu Vodnomu Forumu, Tashkent, 2005. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/gwp/dukhovny_sokolov_r.pdf (data obrashcheniya 15.09.2022).
5. Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami [Elektronnyy resurs]. OON programma po okruzhayushchey srede. URL: [https://www.unep.org/ru/explore-topics/vodnye-resursy/nasha-deyatelnost/integrirovannoe-upravlenie-vodnymi-resursami#:~:text=:\(data%20obrashcheniya%2015.09.2022\)](https://www.unep.org/ru/explore-topics/vodnye-resursy/nasha-deyatelnost/integrirovannoe-upravlenie-vodnymi-resursami#:~:text=:(data%20obrashcheniya%2015.09.2022))
6. Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami (IUVR) [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/8-1.htm> (data obrashcheniya 15.09.2022).
7. Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami: voda dlya lyudey i ekosistem // Ekologicheskoye obshchestvo «BIOTICA» / Obshchestvennaya organizatsiya «Ekospekt». Kishinev, 2017. 42 s.
8. **Tarlok E. Den** Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami: teoriya i praktika // Nauchno-prakticheskiy seminar NATO Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami na transgranichnykh basseynakh – mezhgosudarstvennyye i mezhsektoralnyye podkhody, Bishkek, 2004. 23 s.
9. Basseyn reki Myurrey-Darling (Avstraliyskiy Soyuz) [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.cawater-info.net/bk/water_law/7_1.htm (data obrashcheniya 26.09.2022).
10. **Oziranskiy Yu., Kolmakova Ye.G., Margolina I.L.** Integrirovannoye upravleniye ogranichennymi vodnymi resursami v tselyakh ustoychivogo vodo-obespecheniya aridnykh regionov (opyt gosudarstva Izrail) // Aridnyye eko-sistemy. 2014. T. 20, № 4 (61). S. 57-65.
11. **Orlovskiy N.S., Zonn I.S.** Vodnyye resursy Izrailya: opyt osvoyeniya // Problemy postsovetskogo prostranstva. № 5(1). 2018. S. 8-36.
12. Long-Term Master Plan for the National Water Sector, Part A Policy Document. Israel Water Authority, 2012. Ver. 4. 102 s.
13. **Tarassenko V.S., Pashtetskiy V.S., Popova A.A., Seytumerov E.E., Iva-nyutin N. M., Yudin V.V.** Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami v Respublike

12. Long-Term Master Plan for the National. Water Sector, Part A-Policy Document. Israel Water Authority, 2012. Ver. 4. 2 с.

13. **Тарасенко В.С., Паштецкий В.С., Попова А.А., Сейтумеров Э.Э.** и др. Интегрированное управление водными ресурсами в Республике Крым // Труды Крымской академии наук. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 4-16.

14. **Волкова Н.Е., Иванютин Н.М.** Использование бассейнового подхода в Республике Крым: ограничения и возможности // Вестник ВГУ. Серия «География» // Геоэкология. 2022. № 2. С. 34-46.

15. Руководство по интегрированному управлению водными ресурсами в бассейнах. [Электронный ресурс]. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/gwp/handbook_iwrm_rus.pdf (дата обращения: 20.09.2022).

16. Руководство по интегрированному управлению водными ресурсами в трансграничных бассейнах рек, озер и водоносных горизонтов. [Электронный ресурс]. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/gwp/inbo_handbook2_rus.pdf (дата обращения: 20.09.2022).

17. **Тарасенко В.С., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М.** Интегрированное управление водными ресурсами – путь к улучшению водохозяйственной обстановки в Республике Крым // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 9. С. 64-71.

Критерии авторства

Ангольд Е.В. выполнила теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 16.12.2022

Одобрена после рецензирования 20.01.2023

Принята к публикации 26.01.2023

Krym // Trudy Krymskoy Akademii nauk. Simferopol: IT «ARIAL», 2018. S. 4-16.

14. **Volkova N.Ye., Ivanyutin N.M.** Ispolzovaniye basseynovogo podkhoda v Respublike Krym: ogranicheniya i vozmozhnosti // Vestnik VGU, Seriya: Geo-grafiya. Geoekologiya, 2022. № 2. S. 34-46.

15. Rukovodstvo po integrirovannomu upravleniyu vodnymi resursami v basseynakh [Elektronnyy resurs]. – URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/gwp/handbook_iwrm_rus.pdf (data obrashcheniya 20.09.2022).

16. Rukovodstvo po integrirovannomu upravleniyu vodnymi resursami v transgranichnykh basseynakh rek, ozer i vodonosnykh gorizontov [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/gwp/inbo_handbook2_rus.pdf (data obrashcheniya 20.09.2022).

17. **Tarasenko V.S., Volkova N.Ye., Ivanyutin N.M.** Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami – put k uluchsheniyu vodokhozyaystvennoy obstanovki v Respublike Krym // Ekologiya i promyshlennost Rossii, 2020. T. 24, № 9. S. 64-71.

Criteria of authorship

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

The article was submitted to the editorial office 06.12.2022

Approved after reviewing 19.01.2023

Accepted for publication 26.01.2023

Оригинальная статья

УДК 631.347

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-28-32



ОРГАНИЗАЦИЯ УЧАСТКА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «КАСКАД 65Т»

Соловьев Дмитрий Александрович^{1✉}, д-р техн. наук, профессор

SPIN-код: 2979-8413, AuthorID: 673823; solovevda@bk.ru

Горюнов Дмитрий Геннадьевич¹, канд. техн. наук, доцент

SPIN-код: 3886-9988, AuthorID: 302111; md111@bk.ru

Грепечук Юрий Николаевич¹, младший научный сотрудник

Yuri@Grepchuk.ru

Загоруйко Михаил Геннадьевич², канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

SPIN-код: 2738-5137; AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

Кузнецов Роман Евгеньевич³, проектировщик

nicfigvam@mail.ru

¹ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова; 410012, г. Саратов, Театральная площадь, 1а, Россия

² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия

³ ООО «ЛандшафтСтройСервис»; 410039, г. Саратов, Крымский пр-д, 9, Россия

Аннотация. *Сельское хозяйство в условиях засушливого климата Саратовского Заволжья является неспособным обеспечить высокие урожаи сельскохозяйственных культур без применения специальных инструментов увеличения запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы. В связи с этим развитие мелиорации в Саратовской области является стратегически важной задачей. Основным способом увеличения запаса влаги в почве является дождевание. Для реализации данного способа подходит современная отечественная дождевальная машина «Каскад 65Т». Цель исследований заключается в том, чтобы обосновать параметры участка орошения для обеспечения наилучших условий работы дождевальной машины «Каскад 65Т». Для безопасной и эффективной работы ДМ «Каскад 65Т» должны соблюдаться следующие условия: на поле отсутствуют объекты, мешающие прохождению самоходных тележек и машины в целом; допустимый продольный уклон местности оставляет до 4...12% (в зависимости от конструкции и длины пролетов дождевальной машины); допустимые уклоны по ходу движения машины – до 5...12%; разность уклонов между положением двух соседних пролетов – до 6...14%. При этом общий уклон поля вдоль дождевальной машины не должен превышать 7%. Направление движения машины рекомендуется задавать таким образом, чтобы ее подъем на возвышенность происходил по наиболее пологому склону.*

Ключевые слова: мелиорация, дождевальная машина, участок орошения, уклон

Формат цитирования: Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Грепечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т» // Природообустройство. 2023. № 1. С. 28-32. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-28-32.

© Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Грепечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е., 2023

Original article

ORGANIZATION OF THE IRRIGATION SITE FOR THE EFFECTIVE OPERATION OF THE «CASCADE 65T» SPRINKLER MACHINE

Solovyev Dmitriy Alexandrovych^{1✉}, Doctor of Technical Sciences, Professor

SPIN-код: 2979-8413, AuthorID: 673823; solovevda@bk.ru

Goryunov Dmitry Gennadyevich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

SPIN-код: 3886-9988, AuthorID: 302111; md111@bk.ru

Grepchuk Yuriy Nikolayevich¹, Junior Researcher

Yuri@Grepchuk.ru

Zagoruiko Mikhail Gennadyevich², *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher*

SPIN-код: 2738-5137; AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

Kuznetsov Roman Evgenyevich³, *Designer*

nicfigvam@mail.ru

¹ Saratov state university of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1a. Russia

² Federal scientific agroengineering center VIM; 109428, Moscow, 1st Instyutskiyproezd, 5. Russia

³ OOO «LandshaftStroyService»; 410039, Saratov, Krymskiypr-d., 9. Russia

Annotation. *Agriculture in the arid climate of Saratov Zavolzhye is not able to provide high yields of crops without the use of special tools to increase moisture reserves in the root-containing layer of soil. In this regard, the development of melioration in Saratov region is a strategically important task. Sprinkling is the main way to increase the moisture supply in the soil. The modern domestic sprinkling machine «Cascade 65T» is the most suitable for the realization of this method. For safe and effective operation of «Cascade 65T»SM the following conditions should be observed: no objects on the field interfering with the passage of self-propelled carts and the machine as a whole; permissible longitudinal slope of the area up to 4...12% (depending on design and length of the sprinkler machine spans); permissible slopes in the course of machine movement up to 5...12%; difference in slopes between two adjacent spans up to 6...14%, while the total slope of the field along the sprinkler machine must not exceed 7%. It is recommended to set the direction of machine movement in such a way that its ascent to an elevation occurs along the gentlest slope.*

Keywords: *land reclamation, sprinkler machine, irrigation site, slope*

Format of citation: Solovjev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Y.N., Zagoruiko M.G., Kuznetsov R.E. Organization of the irrigation site for the effective operation of the «Cascade 65T» sprinkler machine // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 1. S. 28-32. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-28-32.

Введение. Без продуктивного сельского хозяйства и прогрессивного АПК невозможно обеспечить устойчивое развитие страны в целом, и отдельных регионов – в частности, а также повысить продовольственную безопасность и уровень жизни населения, развивать рынок труда. Агропромышленный комплекс и сельское хозяйство как его ключевая подсистема в последние годы планомерно развиваются и наращивают объемы производства. Однако есть ряд факторов, сдерживающих это развитие, особое место среди которых занимает негативное влияние климата [1]. Сельское хозяйство в условиях засушливого климата Саратовского Заволжья является неспособным обеспечить высокие урожаи сельскохозяйственных культур без применения специальных инструментов увеличения запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы [2]. В связи с этим развитие мелиорации в Саратовской области является стратегически важной задачей. Основным способом увеличения запаса влаги в почве, практически полностью имитирующий ее природное поступление, – дождевание [3]. Для реализации данного способа как нельзя лучше подходит современная отечественная дождевальная машина «Каскад 65Т» [4]. При этом эффективная эксплуатация дождевальной машины тесно связана с параметрами самого участка орошения.

Остановимся на производственных условиях, в которых работа дождевальной машины «Каскад 65Т» будет эффективной и безопасной.

Цель исследований: обосновать параметры участка орошения для обеспечения наилучших условий работы дождевальной машины «Каскад 65Т».

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

Результаты и их обсуждение. Для эффективной работы дождевальной машины «Каскад 65Т» необходимо соответствующим образом организовать оросительный участок.

На участке поля не должно быть строений, наружных трубопроводов, столбов, оврагов, валунов, деревьев, заболоченных участков и иных препятствий, мешающих прохождению самоходных тележек и машины в целом [5].

Машина должна выгружаться и монтироваться на монтажной площадке, представляющей собой участок поля, свободный от посевов, шириной 10 м и длиной, равной конструкционной длине машины. К монтажной площадке прокладывают дорогу, по которой возможен проезд автомобильного транспорта.

Расстояние от края машины до защитной полосы высоковольтной линии электропередачи должно составлять не менее 100 м.

Допустимый продольный уклон местности зависит от конструкции и длины пролетов, входящих в состав машины (рис. 1, табл. 1).

Максимально допустимый продольный уклон под первым пролетом любого типоразмера должен составлять не более 2%.

Если рассматривать уклон по ходу движения дождевальной машины (рис. 2), то его допустимые значения в зависимости от конструктивного исполнения машины будут следующими (табл. 2) [6].

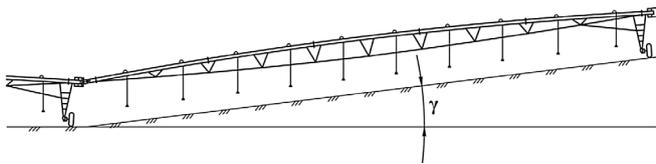


Рис. 1. Схема определения угла продольного уклона местности

Fig. 1. Scheme for determining the angle of the longitudinal slope of the area

Таблица 1. Допустимый продольный уклон вдоль пролета
Table 1. Permissible longitudinal slope along the span

Конструктивное исполнение пролета Constructive span design		Уклон γ , % Slope γ , %
Длина пролета, м Span length, m	Диаметр трубопровода, мм Pipeline diameter, mm	
59,5	Ø159	до 12 up to 12
59,5	Ø133	до 10 up to 10
65,25	Ø159	до 8 up to 8
65,25	Ø133	до 6 up to 6
71,05	Ø159	до 5 up to 5
71,05	Ø133	до 4 up to 4

Таблица 2. Допустимый уклон по ходу движения машины

Table 2. Permissible slope in the direction of travel of the machine

Конструктивное исполнение пролета Constructive span design		Уклон λ , % Slope λ , %
Длина пролета, м Span length, m	Диаметр трубопровода, мм Pipeline diameter, mm	
59,5	Ø159	до 12 up to 12
59,5	Ø133	до 10 up to 10
65,25	Ø159	до 8 up to 8
65,25	Ø133	до 7 up to 7
71,05	Ø159	до 5 up to 5
71,05	Ø133	до 5 up to 5

Уклон трубопровода может быть положительным и отрицательным (рис. 3).

Допустимая разность уклонов между двумя соседними пролетами зависит от длины и конструкции пролетов, входящих в состав машины. Примеры определения разности уклонов представлены на рисунке 4.

Для дождевальной машины «Каскад 65Т» в зависимости от конструктивного исполнения определены следующие допустимые значения разности уклонов между положением двух соседних пролетов (табл. 3). При этом общий уклон поля вдоль дождевальной машины не должен превышать 7% (рис. 5). При общем

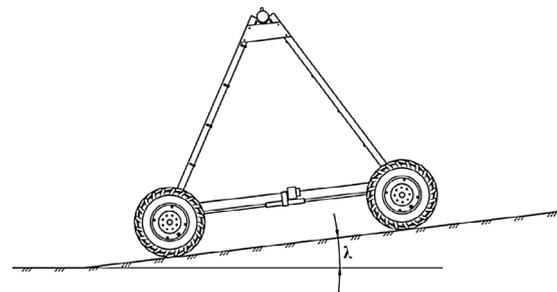


Рис. 2. Схема определения угла уклона местности по ходу движения машины

Fig. 2. Diagram of determining the angle of slope of the area in the direction of the machine traveling

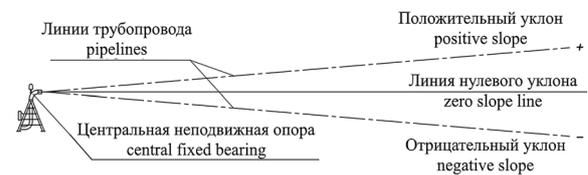


Рис. 3. Определение знаков уклона трубопровода

Fig. 3. Determining the pipeline slope signs

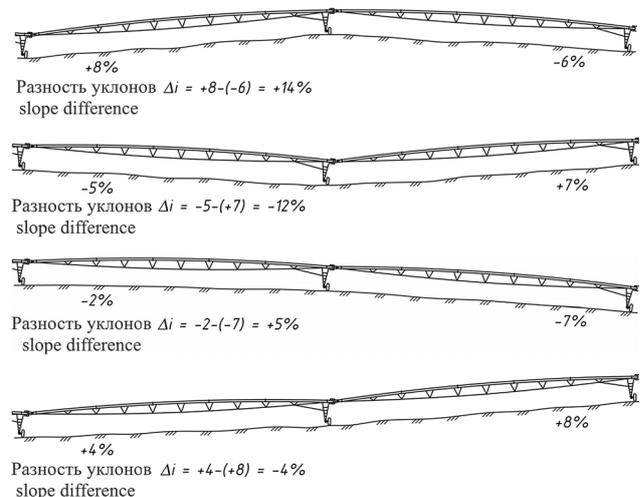


Рис. 4. Примеры определения разности уклонов

Fig. 4. Examples of determining the difference of slopes

Таблица 3. Допустимая разность уклонов между положением двух соседних пролетов
Table 3. Permissible difference in slopes between the position of two adjacent spans

Конструктивное исполнение пролета <i>Constructive span design</i>		Допустимая разность уклонов Δi (с учетом знаков), % <i>Permissible difference of slopes Δi (taking into account signs), %</i>
Длина пролета, м <i>Span length, m</i>	Диаметр трубопровода, мм <i>Pipeline diameter, mm</i>	
59,5	Ø 159	14
59,5	Ø 133	12
65,25	Ø 159	10
65,25	Ø 133	8
71,05	Ø 159	6
71,05	Ø 133	6

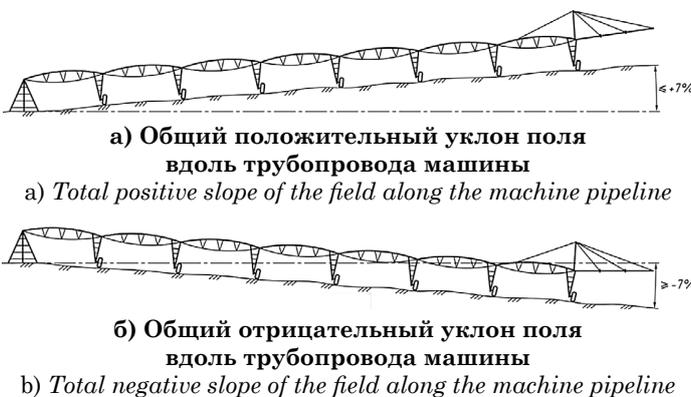


Рис. 5. Общие допустимые уклоны оросительного участка вдоль трубопровода машины

Fig 5. Total permissible slopes of the irrigation section along the machine pipeline

положительном уклоне поля необходимо к давлению на входе в машину добавить давление, соответствующее разнице геодезических отметок между неподвижной опорой и крайней тележкой [7, 8].

В процессе работы машины рекомендуется также задавать направление хода дождевальной машины, при котором подъем на возвышенность происходит по более пологому склону (рис. 6) [9, 10].

Список использованных источников

1. Акименко А.В., Черемисин А.Ю. Анализ дождевальных машин для высокостебельных культур // Модели и технологии природообустройства (Региональный аспект) / Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. Воронеж, 2017. 129 с.
2. Есин А.И., Журавлева Л.А., Соловьев В.А. Ресурсосберегающие технологии и дождевальные машины кругового действия: монография. Саратов, 2019. 214 с.
3. Петровичев И.В. Анализ дождевальной техники // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы IV Международной научно-практ. конф. 2018. С. 65-68.

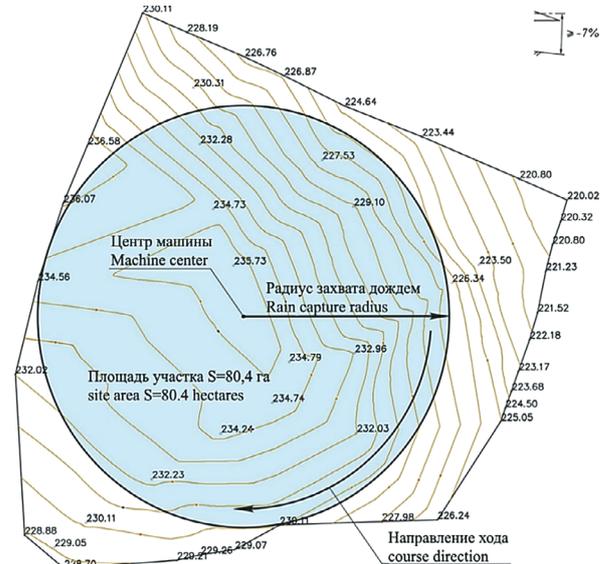


Рис. 6. Пример рационального задания направления хода дождевальной машины на орошаемом участке
Fig. 6. Example of a rational setting of the direction of the sprinkler machine on an irrigated area

Выводы

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что для безопасной и эффективной работы ДМ «Каскад 65Т» должно быть обеспечено соблюдение следующих условий: на поле отсутствуют объекты, мешающие прохождению самоходных тележек и машины в целом; допустимый продольный уклон местности составляет до 4...12% (в зависимости от конструкции и длины пролетов дождевальной машины); допустимые уклоны по ходу движения машины – до 5...12%; разность уклонов между положением двух соседних пролетов составляет до 6...14%, при этом общий уклон поля вдоль дождевальной машины не должен превышать 7%; направление движения машины рекомендуется задавать таким образом, чтобы ее подъем на возвышенность происходил по наиболее пологому склону.

References

1. Akimenko A.V., Cheremisinov A.Yu. Analiz dozhdevalnyh mashin dlya vysokostebelnyh kultur. [Tekst] / A.V. Akimenko A.Yu. Cheremisinov // Modeli i tekhnologii prirodobustrojstva (Regionalny aspekt): Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I (Voronezh) 2017. 129 s.
2. Esin A.I., Zhuravleva L.A., Solovjev V.A. Resursosberegayushchie tekhnologii i dozhdevalnye mashiny krugovogo dejstviya. Saratov: 2019. 214 s.
3. Petrovichev I.V. Analiz dozhdevalnoj tekhniki // Innovatsii v prirodobustrojstve i zashchite v chrezvychajnyh situatsiyah. 2018. S. 65-68.

4. Соловьев Д.А., Актуальность применения дождевальных машин в зонах рискованного земледелия на примере Саратовской области / Кузнецов Р.Е., Горюнов Д.Г., Гречечук Ю.Н. // Научная жизнь. 2022. № 4. С. 507-514.

5. Ляшков М.А. Оптимизация работы дождевальной машины в рамках нескольких орошаемых участков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 4 (32). С. 89-104.

6. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1 (41). С. 38-43.

7. Бакиров С.М. Разработка устройства определения угла поворота секции дождевальной машины // Агроинженерия. 2020. № 4 (98). С. 55-60.

8. Кравчук А.В., Бельтиков Б.Н., Загоруйко М.Г., Бессмольная Е.Н. Особенности использования и конструктивные решения широкозахватной дождевальной техники // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 82-84.

9. Чураев А.А. Конструктивное исполнение дождевальной машины нового поколения / Снопич Ю.Ф., Юченко Л.В., Школьная В.М. // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 4 (68). С. 19-25.

10. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1 (41). С. 38-43.

Критерии авторства

Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Гречечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 11.01.2023

Одобрена после рецензирования 21.01.2023

Принята к публикации 23.01.2023

4. Solovjev D.A. Aktualnost primeneniya dozhdevalnyh mashin v zonah riskovannogo zemledeliya na primere Saratovskoj oblasti / Kuznetsov R.E., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N. // Nauchnaya zhizn. 2022. № 4. S. 507-514.

5. Lyashkov M.A. Optimizatsiya raboty dozhdevalnoj mashiny v ramkah neskolkih oroshaemyh uchastkov // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. 2018. № 4 (32). S. 89-104.

6. Vliyanie rezhima dvizheniya dozhdevalnyh mashin na normu poliva / Solovjev D.A., Zhuravleva L.A. // Vestnik APK Verhnevolzhya. 2018. № 1 (41). S. 38-43.

7. Bakirov S.M. Razrabotka ustrojstva opredeleniya ugla povorota sektsii dozhdevalnoj mashiny // Agroiinzheneriya. 2020. № 4 (98). S. 55-60.

8. Osobennosti ispolzovaniya i konstruktivnye resheniya shirokozahvatnoj dozhdevalnoj tekhniki // A.V. Kravchuk, B.N. Beltikov, M.G. Zagorujko, E.N. Bessmolnaya // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2022. № 8. S. 82-84.

9. Konstruktivnoe ispolnenie dozhdevalnoj mashiny novogo pokoleniya / Churaev A.A., Snipich Yu.F., Yuchenko L.V., Shkolnaya V.M. // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2017. № 4 (68). S.19-25.

10. Solovjev D.A., Zhuravleva L.A. Vliyanie rezhima dvizheniya dozhdevalnyh mashin na normu poliva // Vestnik APK Verhnevolzhya. 2018. № 1 (41). S. 38-43.

Criteria of authorship

Solovjev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Y.N., Zagorujko M.G., Kuznetsov R.E. 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 is responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution of the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 11.01.2023

Approved after reviewing 21.01.2023

Accepted for publication 23.01.2023

Оригинальная статья

УДК 631.6

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-33-37



АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Бадмаева Софья Эрдыниевна, д-р биолог. наук, профессор

s.bad55@mail.ru

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

Аннотация. В прошлом столетии на территории Красноярского края орошаемое земледелие размещалось на площади более 25 тыс. га и располагалось в основном в южных районах края и в пригородной зоне. В этот период работали крупные закрытые и открытые оросительные системы инженерного типа, с применением среднеструйных и дальнеструйных дождевальных машин и агрегатов, типа «Фрегат», «Волжанка», ДДН-70 ДДА – 100 и т.д. На многих оросительных системах поливы производились с нарушением научно-обоснованных режимов орошения, что привело к нарушению экологического равновесия в системе «вода – почва – растение», поднятию уровня грунтовых вод на пониженных элементах рельефа, возникновению вторичного засоления, осолонцевания. В настоящее время орошаемое земледелие носит эпизодический характер, оросительные системы выведены из строя, орошаемые площади переведены в залежь или используются в богарном земледелии. Нами проведены мониторинговые исследования по изучению состояния гумуса и структурно – агрегатного состава постирригационных земель.

Ключевые слова: орошение, пахотные земли, постирригационные земли, мониторинг, гумус, структурно-агрегатный состав, землепользование

Формат цитирования: Бадмаева С.Э. Агроэкологический мониторинг состояния черноземов лесостепной зоны Красноярского края // Природообустройство. 2023. № 1. С. 33-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-33-37.

© Бадмаева С.Э., 2023

Original article

AGROECOLOGICAL MONITORING OF THE STATE OF THE CHERNOZEM FOREST-STEPPE ZONE OF THE KRASNOYARSK KRAI

Badmaeva Sofya Erdynievna, doctor of biological sciences, professor

s.bad55@mail.ru

Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, Russia

Annotation. In the last century, irrigated agriculture was used on the territory of the Krasnoyarsk krai on an area of more than 25 thousand hectares and was located mainly in the southern regions of the krai and in the suburban zone. During this period, large closed and open irrigation systems of the engineering type were operating, using medium-jet and long-jet sprinklers and aggregates, such as «Frigate», «Volzhanka», DDN-70 DDA – 100, etc. On many irrigation systems, watering was carried out in violation of scientifically based irrigation regimes, which led to a violation of the ecological balance in the «water – soil – plant» system, an increase in the groundwater level on the lower elements of the relief, the occurrence of the secondary salinization, alkalization. Currently, irrigated agriculture is episodic, irrigation systems are taken out of order, irrigated areas are transferred to a deposit or used in rain-fed agriculture. Monitoring studies were conducted to study the state of humus and the structural and aggregate composition of post-irrigation lands.

Keywords: irrigation, arable lands, irrigation lands, monitoring, humus, structural and aggregate composition, land use

Format of citation: Badmaeva S.E. Agroecological monitoring of the state of the chernozem forest-steppe zone of the Krasnoyarsk krai // Prirodobustrojstvo. 2023. № 1. С. 33-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-33-37.

Введение. Орошаемое земледелие в Средней Сибири впервые было введено в практику

на территории Минусинской и Тувинской котловины (V-IX вв. до н.э.) т.е. на современной

территории Российской Федерации эти очаги орошения являются древнейшими. Орошение в регионе прошло через череду количественных и качественных изменений – от примитивных оросительных систем к инженерным, отличающимся высокой производительностью труда, частичной автоматизацией, но высокой энерго-, материалоемкостью и от экстенсивного до интенсивного использования земельных и водных ресурсов.

В период развития мелиоративной науки и практики на территории Красноярского края были запроектированы, построены и введены в эксплуатацию крупные оросительные системы инженерного типа. В пригородных зонах орошались овощные культуры, картофель, в сельскохозяйственных предприятиях основные площади орошения отводились по кормовые культуры, многолетние травы. Почвенный покров орошаемых земель были в основном представлены каштановыми, серыми лесными почвами, черноземами. В первые годы эксплуатации оросительных систем поливы проводились грузными поливными нормами, без научно – обоснованных сроков и норм полива, что привело на пониженных элементах рельефа к поднятию уровня грунтовых вод, вторичному засолению и заболачиванию.

Исследованиями, проведенными, в сухостепной зоне Алтайского края также установлено, что основными причинами ухудшения состояния орошаемых земель являются их переувлажнение, и как следствие – подъем уровня грунтовых вод и вторичное засоление. Вторичное засоление почв проявляется при глубине залегания грунтовых вод выше критического значения, равного 2...2,5 м при минерализации грунтовых вод более 5 г/л [1].

В последние годы большие площади орошаемых земель в России не поливаются, переведены в богарные пахотные угодья или в залежь, в так называемые постирригационные земли [2, 3].

Цель исследований. Проведение исследований по агроэкологическому состоянию черноземов лесостепной зоны Красноярского края.

Материалы и методы исследований. Мониторинговые исследования проводились

на ключевых участках стационара «Новоселово», расположенного в лесостепной зоне в провинции разновидностей черноземов обыкновенных Чулымо-Енисейского южного округа, сформированного на лессовидных суглинках четвертичных отложений. На основе крупномасштабной почвенной съемки были выбраны участки с наиболее типичными разновидностями почв. Изучались агрохимические и водно-физические свойства черноземов обыкновенных разных видов хозяйственного использования (целинные, пахотные и постирригационные) по общепринятым методикам почвенных исследований [4]. Программой исследований было предусмотрено рассмотреть изменение содержания гумуса и структурно- агрегатного состава данных почв за многолетний период. Исходной информацией явились анализ литературных источников и фондовых материалов, результаты полевых исследований и лабораторных анализов.

Статистическая обработка данных по изменению содержания гумуса в почвах разного хозяйственного использования за двадцатилетний период проводилась с использованием программного комплекса SPSS.

Результаты и их обсуждение. При вовлечении черноземов в интенсивное земледелие снижается содержание гумуса, более того, происходит изменение качественного состава гумуса, наблюдается переход гуминовых кислот в «агрессивные» фульвокислоты [5]. При разрушении гумуса почвы ухудшаются агрофизические свойства, биологическая активность, что приводит к снижению урожайности культур и ухудшению качества продукции. Черноземы теряют свою структуру, которая переходит в распыленное состояние [6, 7].

Исходное содержание гумуса на целинных черноземах в слое почвы 0-40 см было повышенным и составило в среднем 7,3% или же 336 т/га. За двадцатилетний период наблюдений на этом же участке содержание гумуса составило в 0-40 см слое почвы в среднем 7,6%, т.е. произошло незначительное увеличение (табл. 1).

В процессе естественного почвообразования накопление гумуса происходит за счет

Таблица. Содержание гумуса чернозема обыкновенного, %

Table. Content of humus of chernozem ordinary, %

Годы исследований Years of research	Слой, см Layer, cm	Целина Virgin land	Пашня Arable land	Постирригационный Post-irrigation
1997	0-10	6,9±0,5	7,8±0,8	3,9±0,6
	10-20	7,5±0,7	8,3±0,8	3,2±0,5
	20-40	7,4±0,6	1,7±0,3	3,2±0,6
2017	0-10	7,2±0,7	7,1±0,7	5,5±0,6
	10-20	8,0±0,8	7,9±0,8	5,3±0,5
	20-40	7,7±0,7	1,3±0,3	4,3±0,7

ежегодного прихода органического вещества в виде опада высших растений, от деятельности почвенной биоты [8].

Многолетнее использование чернозема обыкновенного под пашней в условиях недостатка органических удобрений снизило содержание гумуса. В исследованиях, проведенных в 1997 году, содержание гумуса на пахотных черноземах в верхнем 0-20 см слое почвы характеризовалось как высокое и составило 8,05% или 180 т/га. В течение двадцатилетнего периода произошло снижение содержания гумуса в среднем на 0,55% и запасы составили 160 т/га. Запасы гумуса снизились на 20 т/га. В агроценозах значительная часть органического вещества безвозвратно отчуждается с урожаем сельскохозяйственных культур, что обуславливает отрицательный баланс органического вещества и ведет к снижению потенциального плодородия почвы, если не вносится достаточного количества органических удобрений.

На постирригационных участках исходные запасы гумуса в 0-40 см слое почвы в среднем составили 3,43% и относились к низко гумусным почвам. Содержание гумуса после прекращения орошения на этих почвах повысилось до среднего уровня – 5,03% и запасы составили – 254 т/га. Содержание гумуса в почве при орошении зависит от культуры земледелия, поливной нормы и химического состава оросительной воды. При качественном химическом составе оросительной воды, при наличии в севообороте многолетних трав, особенно бобовых, внесении органических удобрений содержание органического вещества в орошаемых почвах не уменьшается. Мелиоративные действия в состоянии радикально изменить свойства почвы, и в том числе плодородие [9, 10].

Изучив содержание гумуса в черноземных почвах разного хозяйственного использования в системе мониторинга можно предположить следующее: содержание гумуса в целинных почвах особых изменений со временем не претерпевает и наблюдается тенденция к увеличению. Гумус в старопахотных почвах со временем уменьшается. В почвах постирригационных участков происходит увеличение содержания гумуса.

Вариационно-статистический анализ показателей содержания гумуса изучаемых черноземов свидетельствует о том, что достоверно значимые различия между годами наблюдений выявлены и математически доказуемы. Для анализа существенности различий средних применялся однофакторный дисперсионный анализ, который позволил оценить различия между выборочными средними. В качестве норматива, с которым производилось сравнение, использовался математический критерий

Фишера (F-критерий представляет отношение двух дисперсий, межгрупповой и случайной). В нашем случае во всех трех вариантах фактический F-критерий Фишера выше табличного при уровне вероятности 0,05, что позволяет сделать вывод о том, что величина средней разности между годами достоверна. Для целинных черноземов расчетный критерий Фишера составил $F_{расч} = 5,744$; для пахотных почв: $F_{расч} = 5,185$; для постирригационных – $F_{расч} = 93196$. Расчетный критерий Фишера при уровне значимости 0,05 равен $F_{табл} = 5,12$ и $F_{расч} > F_{табл}$, т.е. по годам исследований есть существенные различия.

Структурно-агрегатное состояние почвы является важным показателем почвенного плодородия почвы. Плодородие почвы и ее экологическая устойчивость, т.е. противостоять негативным природным процессам, как эрозия и дефляция, напрямую зависит от структуры почвы [11].

Исследования, проведенные по изучению структурного состояния обыкновенных черноземов в целинных почвах, не тронутых человеческой деятельностью, с интервалом в 20 лет показало, что структурность почвы не претерпела значительных изменений.

Качественные показатели структурного состояния 20-40 см слоя по содержанию в них агрегатов агрономически ценных фракций размером 10-0,25 мм указывает на отличную и хорошую оструктуренность обыкновенных черноземов, функционирующих под естественной растительностью, которые представлены ковылем перистым (*Stipapennata* L), овсяницей ложноовечьей (*Festucapseudovina* L.), пыреем ползучим (*Elytrigiarepens* L.). Хорошие показатели структурности почвы обусловлено оструктуривающим действием корневых систем естественно произрастающих многолетних трав. В течение 20 лет произошло улучшение структурного состояния почвы в верхнем слое почвы, что подтверждается статистическими расчетами. Высокие значения коэффициента структурности в подпахотном горизонте по сравнению с верхним горизонтом, выше почти три раза, объясняется тем, что основная корневая система растений сосредоточена в этом слое почвы (рис. 1).

Отличная оструктуренность обыкновенных черноземов сменяется на хорошую и удовлетворительную в пахотных землях. Снижение агрономически ценных фракций до удовлетворительных показателей обнаружено в слое 20-40 см. Мониторинг состояния структурного состава освоенных черноземов показывает, что со временем произошло ухудшение структурного состояния почв. Коэффициент структурности в верхнем слое почвы снизился с 1,8 до 1,5, а в подпахотном слое

почвы на 0,9. Сравнение результатов анализов, проведенное в выборках для 0-20 и 20-40 см слоев почв, показывает, что в освоённом черноземе обыкновенном по сравнению с этими почвами в естественном состоянии отмечается уменьшение количества агрономически ценной фракции. В исследованиях, проведенных в условиях 2017 года, коэффициент структурности в слое 0-20 см в целинных почвах выше почти в два раза, по сравнению с пахотными аналогами.

Вовлечение черноземов в интенсивную обработку в течение длительного промежутка времени существенно ухудшило структурный состав этих почв. Однако структура определяется не только генетическими особенностями почвы, но и характером ее хозяйственного использования [12, 13]. В последние годы из-за недостатка финансовых ресурсов внесение минеральных и органических удобрений было ограничено, не всегда соблюдались научно-обоснованные системы земледелия.

Существенных изменений в структурно-агрегатном составе черноземов обыкновенных в постирригационных условиях не произошло. [14]. Небольшая разница в показателях коэффициентов структурности в изучаемый период времени находится в пределах статистической погрешности.

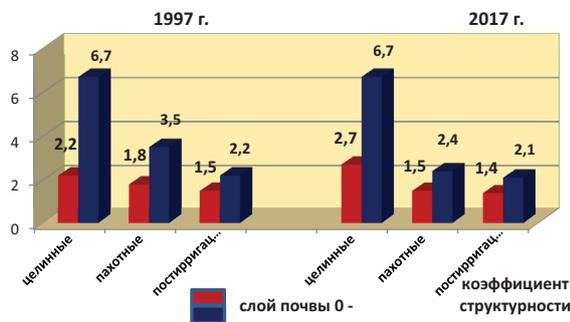


Рис. 1. Коэффициент структурности чернозема обыкновенного

Fig. 1. Structure factor of ordinary chernozem

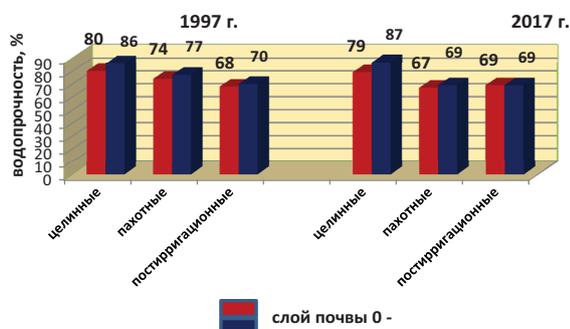


Рис. 2. Критерий водопрочности чернозема обыкновенного

Fig. 2. Criterion of water strength of ordinary chernozem

Наиболее важной и экологически значимой характеристикой почвенных агрегатов является их водопрочность, т.е. способность сопротивляться разрушающему действию воды. В целинных черноземах водопрочность агрегатов с течением времени не претерпела значительных изменений. В верхних слоях почвы этот показатель соответствовал 80-79%, а в нижележащих 86-87% и относится к критерию «отличная».

Совершенно иная ситуация с водопрочностью почвенных агрегатов наблюдается на пахотных почвах. Если исходные показатели водопрочности составляли 74-77% в пахотном и подпахотном горизонте, то в течение длительного периода времени отмечено уменьшение критерия водопрочности до 67-69% соответственно по слоям (рис. 2).

В почвах постирригационного участка исходные значения критерия водопрочности в слое 0-20 см составляли 68%, а в слое 20-40 см – 70%, что ниже по сравнению с целинными и пахотными аналогами. Существенные изменения структурно-агрегатного состава обыкновенных черноземов происходит в условиях орошения в зависимости от норм полива. Орошение данных почв в 80- годах прошлого столетия велось грузными поливными нормами, что привело к ухудшению структурно-агрегатного состава. После прекращения функционирования оросительной системы эти почвы находились в состоянии залежи. Критерии водопрочности после двадцатилетнего периода залежи не изменились и составили соответственно по слоям 66-69%.

Выводы

1. Рассмотрев содержание гумуса в черноземных почвах разного хозяйственного использования в системе мониторинга можно предположить следующее: содержание гумуса в целинных почвах особых изменений со временем не претерпевает и наблюдается тенденция к увеличению. Гумус в старопашотных почвах со временем уменьшается. В почвах постирригационных участков происходит увеличение содержания гумуса.

2. Существенные изменения структурно-агрегатного состава обыкновенных черноземов происходит в условиях орошения в зависимости от норм полива. Орошение данных почв в 80- годах прошлого столетия велось грузными поливными нормами, что привело к ухудшению структурно-агрегатного состава. После прекращения функционирования оросительной системы эти почвы находились в состоянии залежи. Критерии водопрочности после двадцатилетнего периода залежи не изменились и составили соответственно по слоям 66-69%.

3. Для недопущения деградации черноземных почв при вовлечении их в интенсивное земледелие необходимо предусмотреть ряд мероприятий, которые способствовали бы не только сохране-

нию их плодородия, но и повышению. Предлагается почвозащитная система земледелия с включением научно – обоснованных схем севооборотов, внесение органических – минеральных удобрений.

Список использованных источников

1. **Снежко В.Л.** Современные изменения мелиоративного состояния орошаемых земель Алтайского края / Бенин Д.М., Шишкин А.В., Бойко А.В., Скрипкин А.В. // Природообустройство. 2022. № 4. С. 13-21. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-13-21.
2. **Кирейчева Л.В.** Подходы к обоснованию размещения сельскохозяйственных мелиораций // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 4. С. 11-15.
3. **Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И.** Солевое состояние земель в постирригационных условиях на Генераловской оросительной системе Волгоградской области // Почвоведение. 2022. № 8. С. 1056-1070.
4. **Агрохимические методы исследования почв.** М.: Наука, 1975. 656 с.
5. **Приходько В.Е.** Изменение форм органического вещества черноземов Каменной степи при разном использовании, местоположении и увеличении степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1494-1504.
6. **Ахтырцев Б.П.** Водно-физические свойства типичных черноземов Среднерусской возвышенности в условиях интенсивного использования // Почвоведение. – 2011. – № 4. – С. 444-454.
7. **Бадмаева С.Э., Меркушева М.Г.** Научные основы рационального использования орошаемых агроландшафтов Восточной Сибири – Красноярск: КрасГАУ, 2014. 412 с.
8. **Даденко Е.В.** Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню / Мясникова М.А., Козеев К.Ш. и др. // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724-33.
9. **Васильев С.М., Домашенко Ю.Е.** Ретроспективный анализ изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых почв юга Ростовской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 17-24.
10. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Изменение направленности почвенных процессов при снижении водной нагрузки на орошаемые земли. РосНИИПМ. Новочеркасск, 2012. 54 с.
11. **Воеводина Л.А.** Структурное состояние черноземов обыкновенных в орошаемых и неорошаемых условиях // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 2 (22). С. 41-55.
12. **Евдокимова Т.И.** Изменение свойств чернозема типичного под влиянием сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 1999. № 5. С. 652-660.
13. **Коржов С.И., Трофимова Т.А.** Плодородие чернозема обыкновенного при длительном применении обработки почвы // Плодородие. 2009. № 2. С. 44-45.
14. **Семенова В.В.** Агроэкологический мониторинг постирригационных земель лесостепной зоны Красноярского края. // Автореф. канд. дисс. – Барнаул. 2020. 18 с.

Критерии авторства

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

Статья поступила в редакцию 17.02.2023

Одобрена после рецензирования 03.03.2023

Принята к публикации 05.03.2023

References

1. **Snezhko V.L.** Sovremennye izmeneniya meliorativnogo sostoyaniya oroshaemyh zemel Altajskogo kraja / Benin D.M., Shishkin A.V., Bojko A.V., Skripkin A.V. // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 4. S. 13-21. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-13-21.
2. **Kireicheva L.V.** Podhody k obosnovaniyu razmeshcheniya selskokozyajstvennyh melioratsij // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. 2017. № 4. S. 11-15.
3. **Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Kravchenko E.I.** Solevoe sostoyanie zemel v postirrigatsionnyh usloviyah na Generalovskoj orositelnoj sisteme Volgogradskoj oblasti // Pochvovedenie. 2022. № 8. S. 1056-1070.
4. **Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv.** M.: Nauka, 1975. 656 s.
5. **Prihodko V.E.** Izmenenie form organicheskogo veshchestva chernozemov Kamennoj stepi pri raznom ispolzovanii, mestopolozhenii i uvelichenii stepeni gidromorfizma // Pochvovedenie. 2013. № 12. S. 1494-1504.
6. **Ahtyrsev B.P.** Vodno-fizicheskie svojstva tipichnyh chernozemov Srednerusskoj vozvyshennosti v usloviyah intensivnogo ispolzovaniya // Pochvovedenie. – 2011. – № 4. – S. 444-454.
7. **Badmaeva S.E., Merkusheva M.G.** Nauchnye osnovy ratsionalnogo ispolzovaniya oroshaemyh agrolandshaf-tov Vostochnoj Sibiri – Krasnoyarsk: KrasGAU, 2014. 412 s.
8. **Dadenko E.V.** Biologicheskaya aktivnost chernozema obyknovennogo pri dlitelnom ispolzovanii pod pashnyu / Myasnikova M.A., Kozeev K.Sh. i dr. // Pochvovedenie. 2014. № 6. S. 724-33.
9. **Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E.** Retrospektivnyj analiz izmeneniya pochvenno-meliorativnyh uslovij oroshaemyh pochv yuga Rostovskoj oblasti // Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshее professionalnoe obrazovanie. 2016. № 3 (43). S. 17-24.
10. **Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E.** Izmenenie napravlenosti pochvennyh protsessov pri snizhenii vodnoj nagruzki na oroshaemye zemli. RosNIIPM. Novocher-kassk, 2012. 54 s.
11. **Voevodina L.A.** Strukturnoe sostoyanie chernozemov obyknovennyh v oroshaemyh i neoroshaemyh usloviyah // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. 2016. № 2 (22). S. 41-55.
12. **Evdokimova T.I.** Izmenenie svojstv chernozema tipichnogo pod vliyaniem selskokozyajstvennogo ispolzovaniya // Pochvovedenie. 1999. № 5. S. 652-660.
13. **Korzhev S.I., Trofimova T.A.** Plodorodie chernozema obyknovennogo pri dlitelnom primenenii obrabotki pochvy // Plodorodie. 2009. № 2. S. 44-45.
14. **Semenova V.V.** Agroekologicheskij monitoring postirrigatsionnyh zemel lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja. // Avtoref. kand. diss. – Barnaul. 2020. 18 s.

Criteria of authorship

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

The article was submitted to the editorial office 17.02.2023

Approved after reviewing 03.03.2023

Accepted for publication 05.03.2023

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

УДК 627.8:69.05

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-38-46

**ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ****Курбанов Салигаджи Омарович**^{1✉}, канд. техн. наук, доцент

SPIN-код: 2067-1130, AuthorID: 361638; Kurbanov-salih@rambler.ru

Ханов Нартмир Владимирович², д-р техн. наук, профессор

SPIN-код: 4314-8184, AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Черных Ольга Николаевна^{2✉}, канд. техн. наук, профессор

SPIN-код: 7757-7969, AuthorID: 692667; gtsmgup@mail.ru

¹ Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова; 360030, КБР, г. Нальчик, пр-т Ленина, 1В, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

Аннотация. Проблемы инженерной защиты территорий от затоплений и подтоплений паводковыми водами рек являются актуальными для многих регионов России, в том числе для Московской области, где реализуется проект создания наукограда «Большой Серпухов». При этом возникли серьезные препятствия, связанные с попаданием под затопление значительной части территорий прибрежных зон Серпуховского региона. Здесь большая часть сельскохозяйственных земель находится в нарушенном и деградированном состоянии, нуждается в восстановлении с использованием фитомелиоративных мероприятий. С целью решения возникших проблем и препятствий составлены научные программы по изучению и обследованию состояния всех территорий и объектов формируемого наукоград, а также водных объектов (рек Ока и Нара), которые являются источниками затоплений прибрежных территорий и населенных пунктов. Представлены результаты анализа материалов ранее сделанных авторами разработок и изобретений по инженерной защите прибрежных территорий и объектов с точки зрения возможности их использования при решении проблем затопления земель наукограда. Кратко продемонстрированы разработки и изобретения, которые могут быть эффективно использованы при решении вопросов инженерной защиты и природоохранного обустройства затопляемых территорий наукограда. Результаты предварительных исследований подтверждают высокую эффективность и технологичность использования биоинженерных систем защиты и обустройства прибрежных зон. Создание и внедрение биоинженерных систем на основе природных и безопасных искусственных материалов позволят снизить материальные затраты на строительство и будут способствовать восстановлению водоохранных и других нарушенных зон с соблюдением природоохранных требований. Предварительная оценка влияния плотины на р. Нара при гидродинамической аварии на параметры зоны затопления в левобережной части кластеров и районов г. Серпухова показала, что при реализации наиболее вероятного сценария аварии чрезвычайная ситуация может иметь локальный характер по величине материального ущерба, и муниципальный – по территориальному признаку.

Ключевые слова: инженерная защита, наукоград, прибрежные зоны, берегоукрепительные сооружения, биоинженерные системы, биопозитивные конструкции, зона затопления

Формат цитирования: Курбанов С.О., Ханов Н.В., Черных О.Н. Проблемы и пути решения вопросов инженерной защиты и восстановления прибрежных нарушенных земель городских территорий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 38-46. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-38-46.

© Курбанов С.О., Ханов Н.В., Черных О.Н., 2023

Original article

PROBLEMS AND WAYS FOR SOLVING ISSUES OF ENGINEERING PROTECTION AND RESTORATION OF COASTAL DISTURBED LANDS OF URBAN TERRITORIES

Kurbanov Saligadzhi Omarovich^{1✉}, candidate of technical sciences, associate professor
SPIN-код: 2067-1130, AuthorID: 361638; kurbanov-salih@rambler.ru

Khanov Nartmir Vladimirovich², doctor of technical sciences, professor
SPIN-код: 4314-8184, AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Chernykh Olga Nikolaevna², candidate of technical sciences, professor
SPIN-код: 7757-7969, AuthorID: 692667; gtsmgup@mail.ru

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

² Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, Russia

Annotation. *The problems of engineering protection of territories from flooding and flooding by flood waters of rivers are relevant for many regions of Russia, including for the Moscow region, where the project of creating the science town «Big Serpukhov» is being implemented. At the same time, serious obstacles arose related to the flooding of a significant part of the territories of the coastal zones of the Serpukhov region. Here, most of the agricultural land is in a disturbed and degraded state, it needs to be restored using phytomeliorative measures. In order to solve the problems and obstacles that have arisen, scientific programs have been drawn up to study and survey the existing state of all territories and objects of the science city being formed. And also – water bodies (Oka and Nara rivers), which are sources of flooding of coastal areas and settlements. The results of the analysis of materials previously made by the authors of developments and inventions on the engineering protection of coastal territories and objects are presented from the point of view of the possibility of their use in solving the problems of flooding the lands of the science city. The developments and inventions that can be effectively used in solving the issues of engineering protection and environmental arrangement of the flooded territories of the science city are briefly demonstrated. The results of preliminary studies confirm the high efficiency and manufacturability of the use of bioengineering systems for the protection and development of coastal zones. The creation and implementation of bioengineering systems based on natural and safe artificial materials will reduce the material costs of construction and will contribute to the restoration of water protection and other disturbed zones in compliance with environmental requirements. A preliminary assessment of the impact of the dam on the Nara River in a hydrodynamic accident on the parameters of the flood zone in the left-bank part of the clusters and districts of Serpukhov showed that in the implementation of the most likely accident scenario, the emergency situation may be local in terms of material damage and municipal in terms of territoriality.*

Keywords: *engineering protection, science town, coastal zones, bank protection structures, bioengineering systems, biopositive structures, flood zone*

Format of citation: *Kurbanov S.O., Khanov N.V., Chernykh O.N. Problems and ways for solving issues of engineering protection and restoration of coastal disturbed lands of urban territories // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 1. S. 38-46. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-38-46.*

Введение. Для инновационного развития страны, как и для решения современных стратегических задач в целом, большую роль играют формирование новых наукоградов или объединение существующих наукоградов с развитыми промышленными и сельскохозяйственными муниципальными образованиями, располагающихся на трансграничных территориях перспективного научно-технического развития (ГНТР).

Наукоград/технополис представляет собой городской округ, обладающий огромным научно-техническим потенциалом в комплексе с градообразующим научно-производственным комплексом. В Российской Федерации их 14. Основой

инфраструктуры наукограда является научно-исследовательский комплекс, вокруг которого функционируют научно-исследовательские и учебные институты, объекты и зоны для отдыха, труда и комфортного проживания, различные передовые производства, выпускающие изделия с учетом инновационных технологий, и т.д. В Московской губернии этот термин пытались применить еще в 1991 г. Жуковский), а первым статус наукограда в соответствии с федеральным законом в 2000 г. получил г. Обнинск Калужской области. На сегодня в Московской области 8 наукоградов: Жуковский, Дубна, Королёв, Пушкино, Протвино, Черноголовка, Фрязино, Реутов.

Практически все они находятся на берегах водных объектов, и вокруг каждого технополиса действует кластер профильных предприятий и образовательных учреждений. Большие перспективы имеет ТНТР «Южное Подмосковье» с центром в г. Серпухове, куда входят Серпуховский район и наукограды Протвино (15 км от Серпухова на р. Протва) и Пущино (26 км от Серпухова на р. Ока) (рис. 1).

С учетом высокой инвестиционной привлекательности (выгодное территориальное положение – 99 км от Москвы и 76 км от МКАД, развитая экономика и транспортная инфраструктура, большой научный, рекреационный и трудовой потенциал – более 150 тыс. чел.) в настоящее время планируется реализовать весьма важный проект – наукоград «Большой Серпухов». С учетом того, что г. Серпухов (общая площадь – 1056 км²) находится на р. Наре, вблизи впадения ее в судоходную р. Оку, на которой есть порт, а исторический центр городского округа – Соборная гора – расположен при слиянии рек Серпейки и Нары, разработана концепция развития и создания комфортной среды в расширенных границах г. Серпухова. По этой концепции и плану развития вся территория наукограда разбита на 15 кластеров и функциональных зон (научная, производственная, сельскохозяйственная, экологическая, жилая, спортивно-оздоровительная и пр.). Предположительно общая площадь научного центра (кластера науки) составит 710 га. На территории кластера планируется создание образовательных учреждений всех уровней образования (детские сады, школы, университеты) и научно-исследовательских центров, доступных для всех регионов России.

Главной задачей экологического кластера планируется создание полноценной экосистемы



Рис. 1. Карта Серпуховского района

Fig. 1. Map of the Serpukhov region

для разработки и развития природоохранных технологий защиты и обустройства территорий, а также для развития и коммерциализации проектов участников наукограда в области новых технологий, в том числе ИТ. Как и сейчас, с учетом контактирования с Приокско-Террасным государственным биосферным заповедником, кластер с экосистемой будет ориентирован на приоритетное развитие полноценного туристического комплекса с экотропами, зоопарком, аквапарком и пр. Вокруг производственных и жилых зон предусмотрена зеленая и экологически чистая территория с водными объектами, предназначенная для развития въездного туризма, паломничества, экотуризма, агротуризма и корпоративного тимбилдинга, организации фермерских хозяйств, создания животноводческого и рыбного комплексов и пр. На территории как элитной, так и малоэтажной жилой, коттеджной застройки, планируется создать всю инфраструктуру, необходимую для комфортной жизни, в том числе пляжные зоны, яхт-клуб, причалы, смотровые площадки и пр.

Материалы и методы исследований.

Для реализации вышеописанных концептуальных решений по созданию и развитию наукограда «Большой Серпухов», как для любой урбанизированной территории, находящейся на берегу крупных, недостаточно зарегулированных водных объектов, имеются серьезные препятствия, связанные с попаданием под затопление значительной части территорий прибрежных зон при гидрологической аварии на гидротехнических сооружениях (ГТС) и возникающими при этом водными эрозионными процессами территории разного назначения.

Ранее проведенные обследования на кафедре гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и МГУП под руководством В.И. Волкова и Г.М. Каганова низконапорных гидроузлов и отдельных ГТС основных водных объектов Московской области и ряда ГТС Серпуховского региона [1], их анализ, а также анализ проекта концепции формируемого наукограда и карт затоплений прибрежных территорий между населенными пунктами Серпухов и Пущино, представленных администрацией г. Серпухова (рис. 2), подтверждают необходимость проведения современных полевых исследований по оценке состояний затапливаемых территорий, ГТС и объектов проектируемого наукограда, а также разработки программ по инженерной защите названных территорий. Большая часть сельскохозяйственных земель здесь уже сейчас находится в нарушенном и деградированном состоянии и нуждается в восстановлении

с использованием фитомелиоративных мероприятий [2-8].

Анализ взаимодействия водных объектов в пределах городской территории и за ее пределами указывает на то, что основными источниками затоплений являются паводковые расходы р. Оки и ее притока р. Нары. В весенне-летний период паводковые уровни рек на определенный период до 10...11 м повышаются над отметками большей части прибрежных земель Серпухова, вызывая подтопление значительных территорий города и его окраин. В связи с этим при реализации проекта наукограда возникли большие проблемы, связанные с необходимостью в инженерной защите и подготовке этих затапливаемых территорий с применением природоохранных технологий и архитектурно-дизайнерских решений. Для их решения в рамках технического задания и программы организации научных экспедиций по обследованию и оценке состояний затапливаемых территорий и нарушенных земель наукограда на кафедре «Гидротехнические сооружения» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева намечено использовать аналитические и натурные методы исследований с проведением полевых обследований. Основной целью работ является разработка мероприятий инженерной защиты территорий от затоплений и подготовка научно-технических основ формируемого генерального плана развития всей территории с учетом деления на функциональные зоны, а также проектных решений по инновационному и природоохранному обустройству осваиваемых территорий с восстановлением нарушенных сельскохозяйственных земель, с использованием природоподобных технологий.

Исследовательские работы одновременно ведутся по двум направлениям. Под руководством С.О. Курбанова разрабатывается научное направление в области инженерной защиты территорий на основе предложенной им ранее концепции создания биоинженерных систем для защиты и восстановления нарушенных земель прибрежных и рекреационных зон, подтвержденных патентами [8, 11, 15] (некоторые из них

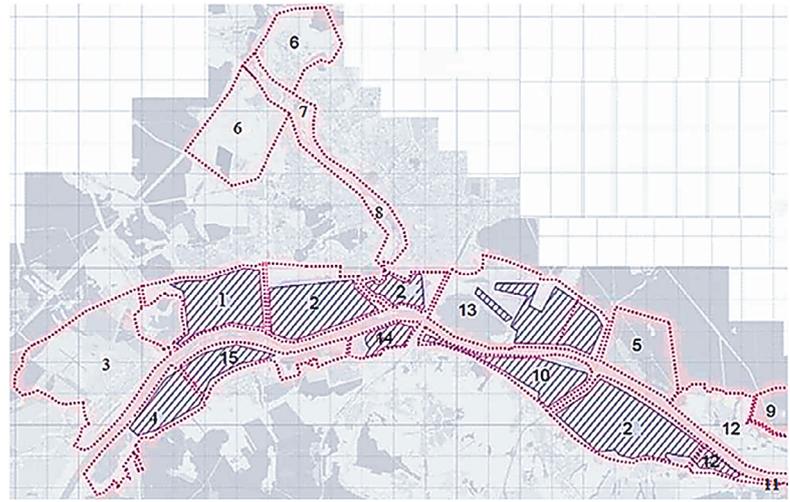


Рис. 2. Подтапливаемые территории городского округа Серпухова (по данным администрации) с границами предлагаемых кластеров в центральной части Серпуховского района:

- 1 – Информационные технологии; 2 – Наука;
 3 – Производство; 4 – Сельское хозяйство;
 5 – Учебно-спортивно-оздоровительный комплекс;
 6 – Фермерское хозяйство;
 7 – Культурно-архитектурный комплекс;
 8 – Набережная; 9 – Экозона; 10 – Парк развлечений;
 11 – Коттеджная жилая застройка;
 12 – Малоэтажная жилая застройка;
 13 – Элитная жилая застройка; 14 – Административный кластер
 (Условные обозначения:
 — затапливаемые места; – границы кластеров)

Fig. 2. Flooded areas of the Serpukhov urban district (according to the administration) with the boundaries of the proposed clusters in the central part of the Serpukhov region:
 1 – Information technologies; 2 – Science; 3 – Production;
 4 – Agriculture; 5 – Educational and sports and recreation complex;
 6 – Farming; 7 – Cultural and architectural complex;
 8 – Embankment; 9 – Eco-zone; 10 – Amusement Park;
 11 – Cottage residential development; 12 – Low-rise residential development;
 13 – Elite residential development; 14 – Administrative cluster
 (Symbols: — flooded places; – cluster boundaries)

представлены на рисунке 3). В рамках данного направления исследований подготовлен ряд вариантов новых биоинженерных систем регулирования и защиты прибрежных затапливаемых зон малых рек (с максимальным использованием для берегоукрепительных сооружений местных и безопасных искусственных материалов).

Часть из оформляемых в настоящее время патентов позащитно-регуляционным, противозрозийным сооружениям и дренажным системам может быть эффективно использована при разработке проектов по решению проблем затопления прибрежных территорий наукограда [8-11]. Для внедрения предлагаемых биоинженерных систем и укрепления следует досконально изучить: физическое (топографическое) состояние всей территории наукограда; физические карты

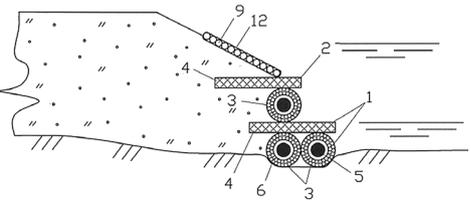
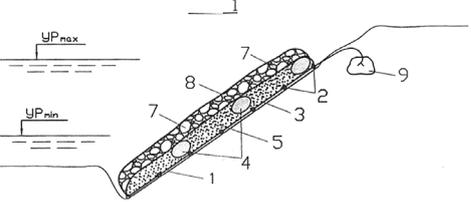
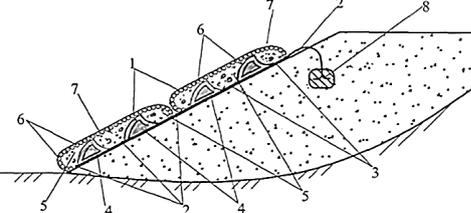
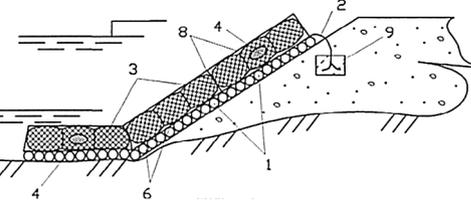
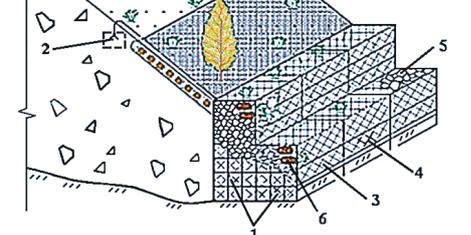
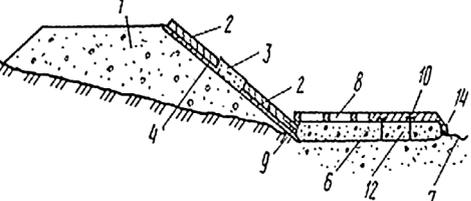
	<p>3.1. Подпорная стенка биопозитивной конструкции состоит из двух ступеней: первой ступени 1 и второй ступени 2, которые выполнены из тяжелых фашин 3 и габионных тюфяков 4. На береговом откосе выше второй ступени предусмотрено крепление из гибких габионных тюфяков 12, заполнителем которых использованы только легкие фашины 9.</p>
	<p>3.2. Габионный тюфяк биопозитивной конструкции состоит из крупноячейистой сетки, выполненной из металлических проволочек 2, геотекстиля 3, прикрепленного сверху к проволокам 2, мешков 4, заполненных растительным грунтом с добавлением семян трав и кустарников, местного грунта 5, уложенного в пространство между мешками 4 до их верха. Поверх мешков 4 и грунта 5 устроен слой из камня 7, обтянутый сверху габионной сеткой 8.</p>
	<p>3.3. Откосное крепление биопозитивной конструкции состоит из тюфяков 1, гибко соединенных между собой, металлических проволочек 2, растянутых в основании, геосетки 3 с карманами, расположенными рядами и заполненными растительным грунтом 4 и местным грунтом 5, уложенным между рядами карманов; легких фашин 6 из сухого камыша, уложенных сверху плотными рядами по всей площади тюфяков 1. При этом тюфяки 1 прикреплены к бетонным анкерам 8.</p>
	<p>3.4. Откосное крепление биопозитивной конструкции состоит из легких фашин 1, соединенных между собой, металлических проволочек 2, растянутых сверху легких фашин 1 с образованием крупноячейистой сетки, тяжелых фашин 3, уложенных сверху легких фашин 1. Поверх тяжелых фашин 3 растянута вторая крупноячейистая сетка 8 из металлической проволоки. Между собой крупноячейистые сетки соединены проволокой и прикреплены к анкерам 9, устроенных в откосе.</p>
	<p>3.5. Подпорные стенки выполнены из арматурных решетчатых каркасов 1 сборной конструкции, связанных между собой и прикрепленных к бетонным анкерам 2, устроенным в откосе; габионов 3, выполненных из специальной сетки 4, каменного заполнителя 5 и мешков 6 с плодородным грунтом.</p>
	<p>3.6. Комбинированное крепление из железобетонных плит и габионов, расположенных рядами вдоль укрепляемого откоса: 1 – откос; 2 – ж/б плиты; 3 – габионы; 4 – фильтровая подготовка; 5 – монтажные петли; 6 – габионные тюфяки; 7 – русло реки; 8 – гибкие ж/б решетки; 9 и 10 – шарнирные связи, расположенные на арматурной проволоке 13; 11 – сетчатая оболочка; 12 – заполнитель; 14 – последнее звено ж/б решеток.</p>

Рис. 3. Биоинженерные системы

Разработаны под руководством С.О. Курбанова для регулирования русел, защиты, крепления и восстановления прибрежных зеленых зон, откосов дамб и берегов водных объектов [2-6]

Fig. 3. Bioengineering systems

Developed under the leadership of S.O. Kurbanov for the regulation of channels, protection, fastening and restoration of coastal green areas, slopes of dams and banks of water bodies [2-6]

и аэрокосмические съемки территорий (перед затоплением, во время затопления и после затопления); изучить гидрологические режимы участков рек Ока и Нара в районе г.о. Серпухов; определить графические связи изменения уровня режима при нарастании паводков реки площадей затоплений прибрежных территорий и т.д. Эти же данные важны и являются исходной

информацией для проведения второго направления работ. Это корректная оценка зон возможных затопления и подтопления прибрежных территорий паводковыми водами рек Ока и Нара и разработка первоочередных технических решений по их предотвращению, а также определение размера вероятного вреда с учетом прогнозируемых сценариев аварий ГТС, в которых отражаются

данные о возможной зоне воздействия аварии ГТС, значения величин негативных воздействий аварии ГТС для территорий, входящих в формируемый генеральный план развития наукограда «Большой Серпухов», оценка возможности нанесения ущерба для третьих лиц при гидродинамической либо гидрологической аварии.

Результаты и их обсуждение. Результаты предварительных проведенных исследований по объектам наукограда подтверждают правильность намеченных целей и задач по инженерной защите и подготовке затопляемых территорий и их природоохранного обустройства. Выявлены наиболее опасные участки прибрежных зон, где требуются первоочередные защитные и регуляционные мероприятия. Для них готовятся программы необходимых инженерных изысканий, научных исследований, опытно-конструкторских и проектных работ. При этом будут использованы результаты ранее проведенных исследований по конструированию и созданию биоинженерных систем защиты и обустройства прибрежных зон малых рек. В этих целях подготовлены основные технические решения по изготовлению сборных изделий из местных материалов (легкая и тяжелая фашины из сухого камыша, растительного грунта, геосетки) и других искусственных материалов (рис. 3). Разработаны также технические решения по использованию армированных габионов биопозитивной конструкции (рис. 3.2).

Использование сборных изделий и конструкций обеспечивает ускоренное восстановление эродированных и других нарушенных участков земель с биопозитивным влиянием на природную среду (рис. 3.6). Из этих изделий и элементов легко собираются и возводятся защитные крепления и элементы систем защиты, которые в сочетании с другими, более прочными конструкциями, образуют биоинженерные системы защиты и восстановления нарушенных зон. Это позволяет снизить материальные затраты на строительство и способствует восстановлению водоохраных и других нарушенных зон с соблюдением природоохранных требований. При внедрении и использовании данных систем для защиты от затопления и природоохранного обустройства земель прибрежных зон возможный экономический эффект может составить более 20 млн руб. на 1 км.

На предварительной стадии научных исследований второго направления для оценки роли существующих ГТС в черте Серпухова были выполнены и проанализированы возможные сценарии гидродинамической аварии на плотинном гидроузле, расположенном на юго-западной окраине города на р. Наре. Расчет выполнялся

по методологии, апробированной на кафедре ГТС [12-14, 16, 17]. Характерной особенностью створа плотины (состоящей из земляной части высотой 1,5...2,7 м и бетонной водосливной плотины максимальной высотой 8 м и напором при НПУ 5,3 м) является то, что в апреле-мае сооружения плотины затапливаются паводковыми водами р. Оки, уровни воды в створе плотины могут превышать уровень верхнего бьефа на 7...8 м, и соответственно – нижнего бьефа на 12...13 м. Для промывки верхнего бьефа от наносов, а также сброса части паводковых расходов есть донный водосброс шириной 5 м [18].

Особенностями развития событий в зоне потенциального затопления являются постепенность подъема уровня р. Оки и соответственно р. Нары, большая ширина потока в нижнем бьефе р. Нары, и как следствие – большая площадь поперечного сечения потока и его низкая скорость. Эти особенности создают относительно благоприятные условия для сохранения объектов и территорий, временно затопляемых в период половодья, что подтверждается практикой многолетних наблюдений за состоянием объектов и пойменных земель. Расчетом установлено, что масштабы затопления территорий и объектов р. Оки и р. Нары в ее нижнем течении при подъеме уровней воды в период половодья или дождевых паводков по существу не зависят от наличия или отсутствия плотины на р. Наре.

Для определения максимальной зоны затопления территорий в верхнем и нижнем бьефах был принят расчетный случай пропуска через плотину поперечного расхода р. Нары обеспеченностью $P = 1\%$ ($420 \text{ м}^3/\text{с}$) при уровне в нижнем бьефе, соответствующем уровню воды в р. Оке обеспеченностью $P = 5\%$ (отметка 117,5 мБС), то есть повторяемостью один раз в 20 лет. Расчет параметров волны прорыва и затопления территорий в нижнем и верхнем бьефе плотины на р. Наре, а также анализ размещения населенных пунктов и объектов экономики в нижнем бьефе для ряда сценариев гипотетической аварии без учета влияния уровня режима р. Оки на гидрологический режим потока в р. Наре и других ГТС на водотоке (рис. 4) показали, что чрезвычайная ситуация (ЧС), возможная вследствие реализации наиболее тяжелого с точки зрения масштабов затопления территорий и объектов сценария развития событий, не возникает ввиду отсутствия вреда, причиненного по вине собственника сооружения. При реализации сценария самой вероятной аварии плотины общий ущерб, вызванный нарушением водоснабжения промышленных предприятий, забирающих воду из водохранилища, составит около 30 тыс. руб. ЧС, возникающая

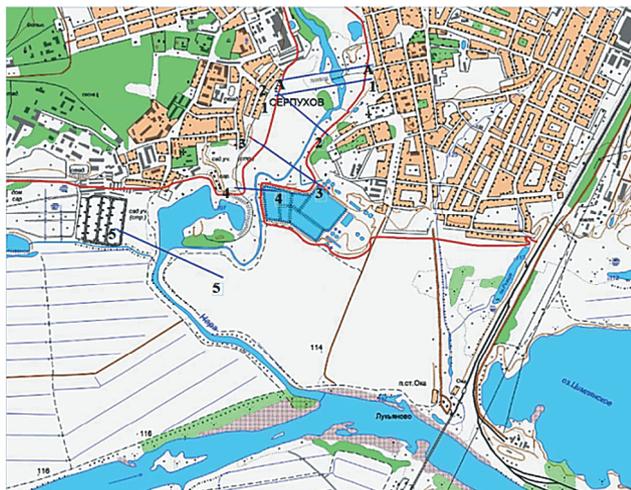


Рис. 4. Зона затопления (выделена красными линиями) территории для сценария развития событий, связанных с максимальным затоплением нижнего и верхнего бьефов. М 1:25 000:

1 – створ плотины; 2 – границы затопления;
1-1...5-5 – расчетные створы в нижнем бьефе;
А-А – расчетный створ в верхнем бьефе

Fig. 4. Flood zone (highlighted in red lines) of the territory

for the scenario of the development of events related to the maximum flooding of the lower and upper reaches. М 1:25 000:

1 – Dam site; 2 – flood boundaries;
1-1...5-5 – calculated sites downstream; A-A – calculated sites upstream

вследствие гидродинамической аварии при реализации наиболее вероятного сценария аварии, будет иметь локальный характер по величине материального ущерба, и муниципальный – по территориальному признаку.

В заключение можно отметить, что предварительные итоги изучения проблем инженерной защиты прибрежных земель, предлагаемых проработок по концепции развития наукограда «Большой Серпухов» и материалов проведенных ранее натурных обследований подтверждают необходимость проведения современных научно-исследовательских и опытно-технологических работ по оценке состояния всех территориальных зон и кластеров формируемого наукограда, и предложить конкретный план исследовательских работ для аналогичных городских территорий:

– изучить и обследовать имеющиеся водные объекты (р. Ока и ее приток р. Нара), их гидрологические режимы, приводящие к затоплению и подтоплению новых урбанизированных прибрежных территорий (наукограда), оценить техническое состояние и уровень безопасности как отдельных ГТС, так и гидроузлов в целом;

– проанализировать влияние работы гидроузлов, расположенных выше и ниже по течению

рек и их притоков от рассматриваемого участка, и влияние их на регулирование водного режима (в данном случае – Серпуховского региона);

– тщательно изучить все прибрежные территории (с жилыми, промышленными, сельскохозяйственными и другими зонами) и их площади, которые могут попасть под затопление/подтопление, эксплуатационное и экологическое их состояние, оценить возможный ущерб или величину размера вреда, который может быть причинен в результате аварии на ГТС;

– по результатам обследований разработать и составить программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по мероприятиям и специальным конструктивным элементам инженерной защиты территорий (формируемого наукограда «Большой Серпухов»);

– разработать первоочередные технические мероприятия по предотвращению возможных затоплений территорий (с использованием биоинженерных систем защиты и обустройства территорий);

– подготовить конкретное научно-обоснованное техническое задание на разработку проектных документаций с инновационными конструктивными и технологическими решениями по природоохранному обустройству и инженерной защите территорий, входящих в формируемый генеральный план развития территорий наукограда «Большой Серпухов».

Выводы

По результатам реализации проекта и внедрения патентов на изобретения по биоинженерным системам, несомненно, будут решены проблемы инженерной защиты от затопления прибрежных территорий, восстановления нарушенных сельскохозяйственных и урбанизированных земель. Вся территория, в данном случае входящая в Серпуховской район и находящаяся под воздействием водотоков (Ока, Нарва, Протва и др.), будет благоустроена и озеленена вследствие применения природоохранных биоинженерных технологий и впишется в концепцию предлагаемых архитектурно-дизайнерских проектов.

В социально-экономической среде реализация проекта будет способствовать росту значимости и популярности природоохранных фитомелиоративных технологий, а также развитию экологического туризма. Без создания сооружений инженерной защиты ущерб от затопления городских территорий старого города и формируемого наукограда «Большой Серпухов» может возрасти на несколько порядков до масштаба межрегиональной ЧС.

Список использованных источников

1. **Волков В.И., Кобызов С.О.** Обследование и мониторинг состояния гидротехнических сооружений 655 водоемов Московской области в 2016-2018 гг. // Природообустройство. 2020. № 2. С. 74-81.
2. **Курбанов С.О., Созаев А.А.** Обоснование концепции создания биоинженерных систем защиты и восстановления земель прибрежных и рекреационных зон // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 8. С. 34-39.
3. **Курбанов С.О., Жемгуразов С.М., Настаева Ж.Х.** Биопозитивные методы защиты и восстановления эродированных и нарушенных участков земель сельскохозяйственных и рекреационных зон // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 149. С. 92-101.
4. **Курбанов С.О.,** Экологически эффективные технологии регулирования малых рек истроительства мелиоративных водозаборов / Созаев А.А., Чапаев Т.М., Сасиков А.С. // Электронный научный журнал «International agricultural journal». 2020. № 6. URL: <https://iaceu/index.php/iac/article/view/315>.
5. **Kurbanov S.O., Sozaev A., Shogenov A., Karshiev A.** Bioengineering systems for protection and improvement of urbanized areas of coasta land recreationalzones // Сборник: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. С. 30-35.
6. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Balkizov A.B.** Effective technical solutions forchannel regulationsmall riversand construction of reclamation water intakes / Science Education Practice proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto), September30, 2020. – Infinity Publishing. P. 117-130.
7. **Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В.** Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие. Ч. 1. М.: РГАУ-МСХА, 2019. 145 с.
8. **Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В.** Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 185 с.
9. **Гурьев А.П., Баранов Е.В., Ханов Н.В.** Применение объемных полимерных георешеток в укреплении откосов подпорных грунтовых гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2015. № 2. С. 45-48.
10. **Гурьев А.П.** Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / Ханов Н.В., Еремеев А.В. и др. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 253 с.
11. **Куликова А.А., Черных О.Н.** Проблемы и пути решения вопросов ренатурирования малыхрекМосквы // Сб. статей II Международной научно-практ. конф. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. С. 244-252.
12. **Черных О.Н., Волков В.В., Бурлаченко А.В.** Проблемы безопасности территорий нижнего бьефа столичных прудов // Природообустройство. 2017. № 1. С. 47-55.
13. **Волков В.И.,** Оценка условий и последствий прорыва напорного фронта речного гидроузла: учебное пособие / Черных О.Н., Алтунин В.И., Сакисова И.А.М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 180 с.
14. **Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В.** Некоторые аспекты использования инновационных конструкций кульвертов при техномелиоративном обустройстве зарыбленных водотоков // Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической

References

1. **Volkov V.I., Kobyzev S.O.** Obsledovanie i monitoring sostoyaniya gidrotehnicheskikh sooruzhenij 655 vodoyomov Moskovskoj oblasti v 2016-2018 gg. // Prirodoobustrojstvo. 2020. № 2. S. 74-81.
2. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A.** Obosnovanie konseptsii sozdaniya bioinzhenernyh sistem zashchity i vosstanovleniya zemel` pribrezhnyh i rekreatsionnyh zon // Ekologiya i promyshlennost Rossii, 2020. T. 24. № 8. S. 34-39.
3. **Kurbanov S.O., Zhemgurazov S.M., Nastaeva Zh.H.** (2019) Biopozitivnye metody zashchity i vosstanovleniya erodirovannyh i narushennyh uchastkov zemel sel'skohozyajstvennyh i rekreatsionnyh zon // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 149. S. 92-101.
4. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Chapaev T.M., Sasaki A.S.** Ekologicheski effektivnye tehnologii regulirovaniya malyh rek i stroitelstva meliorativnyh vodozaborov / Elektronnyj nauch. zhurnal «International agricultural journal» i opublikovana v № 6/2020: <https://iaceu/index.php/iac/article/view/315>.
5. **Kurbanov S., Sozaev A., Shogenov A., Karshiev A.** Bioengineering systems for protection and improvement of urbanized areas of coastal and recreational zones / Сборник: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. С. 30-35.
6. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Balkizov A.B.** Effective technical solutions for channel regulation small rivers and construction of reclamation water intakes / Science Education Practice proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto), September 30, 2020. – Infinity Publishing. P. 117-130.
7. **Chernyh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Beregoukrepitelnye konstruksii vodnyh objektov ch. 1: uchebnoe posobie. M.: RGAU MCHA, 2019. 145 s.
8. **Chernyh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Beregoukrepitelnye konstruksii vodnyh objektov ch. 2: uchebnoe posobie. M.: RGAU MCHA, 2020. 185 s.
9. **Gurjev A.P.** Primenenie obyomnyh polimernyh gereshyotok v ukreplenii otkosov podpornyh gruntovyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij / E.V. Baranov, A.P. Gurjev, N.V. Khanov // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 2. S. 45-48.
10. **Gurjev A.P.** Ispolzovanie kompozitsionnyh geomatov dlya borby s vodnoj eroziy / Gurjev A.P., Khanov N.V., Eremeev A.V., Kozlov K.D., Fartukov V.A., Shchukin S.N. / M.: RGAU MCHA, 2020. 253 s.
11. **Kulikova A.A., Chernyh O.N.** Problemy` i puti resheniya voprosov renaturirovaniya malyh rek Moskvy / Sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Petrozavodsk: MTSNP «Novaya nauka», 2022. S244-252.
12. **Chernyh O. N., Volkov V.V., Burlachenko A.V.** Problemy` bezopasnosti territorij nizhnego bjeфа stolichnyh prudov // Prirodoobustrojstvo. 2017. № 1. S. 47-55.
13. **Volkov V.I.,** Otsenka uslovij i posledstvij proryva napornogo fronta rrechnogo gidrouzla. M.: RGAU MCHA, 2015. 180 s.
14. **Chernyh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Nekotorye aspekty ispolzovaniya innovatsionnyh konstruksij kulvertov pri tehnomeliorativnom obustrojstve zaryblyonnyh vodotokov / Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj (natsionalnoj) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nalchik: FGBOU VO Kabardino-Balkarskiy GAU, 2021. S. 160-164.

конференции. Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2021. С. 160-164.

15. **Курбанов С.О., Румянцев И.С.** Основы проектирования природно-технических систем биопозитивной конструкции по регулированию русел, защиты и восстановления прибрежных зон // Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: материалы Международной научно-практической конференции. Ч. III. М.: МГУП, 2011. С. 121-135.

16. **Черных О.Н., Алтунин В.И.** Специфика вопросов охраны окружающей среды при строительстве и эксплуатации гофрированных водопропускных труб из металла // Природобустройство. 2015. № 2. С. 33-38.

17. **Suetina T.A., Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering, 1-8 July 2018, Novosibirsk, Russian Federation. Novosibirsk, 2018. Vol. 456. Sect. 4. 31 December. 5 p.

18. Рабочая документация по капитальному ремонту донного водосброса плотины на р. Нара в г. Серпухове. Кн. 1. Технический отчет по обследованию плотины на р. Нара в г. Серпухове. ОАО «Гипроречтранс». М., 2002.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022

Одобрена после рецензирования 21.01.2023

Принята к публикации 25.01.2023

15. **Kurbanov S.O., Rumyantsev I.S.** Osnovy` proektirovaniya prirodno-tehnicheskikh sistem biopozitivnoj konstruksii po regulirovaniyu rusel, zashchity` i vosstanovleniya pribrezhnyh zon // Problemy razvitiya melioratsii i vodnogo hozyajstva i puti ih resheniya. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch.III. M.: MGUP, 2011. S. 121-135.

16. **Chernyh O.N., Altunin V.I.** Spetsifika voprosov ohrany okruzhayushhej sredy pri stroitelstve i ekspluatatsii gofirovannyh vodopropusknyh trub iz metalla // Prirodobustrojstvo. 2015. № 2. S. 33-38.

17. **Suetina T.A., Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering 1-8 July 2018, Novosibirsk, Russian Federation. 2018. Volume 456. Section 4. 31. December. 5 p.

18. Rabochaya dokumentatsiya po kapitalnomu remonu donnogo vodosbrosa plotiny na r. Nara v g. Serpukhove. Kniga 1. Tehnicheskij otchet po obsledovaniyu plotiny` na r. Nara v g. Serpukhove. ОАО «Giprorchtrans». М. 2002.

Criteria of authorship

Kurbanov S.O., Khanov N.V., Chernykh O.N. 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.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

The article was submitted to the editorial office 15.10.2022

Approved after reviewing 21.01.2023

Accepted for publication 25.01.2023

Оригинальная статья

УДК 626.83:532.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-47-53



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ВОДОВЫПУСКНОГО СООРУЖЕНИЯ С КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ПОПЛАВКОМ

Хаек Бушра, аспирантка

bushra.hayek@gmail.com

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

Аннотация. Цель исследований – совершенствование конструкции водовыпускного сооружения, расчет водовыпуска телескопического типа с круглоцилиндрическим поплавком и определение диаметра поплавка подвижного короба при заданных параметрах, который должен обеспечивать надежность его статического положения при всех возможных гидравлических режимах работы как водослива с круглоцилиндрическим оголовком с подвижным положением гребня в зависимости от уровня воды в приемном магистральном канале. Представлена разработанная конструкция водовыпускного сооружения переливного водовыпускного сооружения телескопического типа, обладающая простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, строительной дешевизной при минимальных гидравлических потерях. Представлены результаты теоретических исследований предлагаемой конструкции телескопического водовыпускного сооружения, рассмотрены 3 варианта работы подвижного короба. Из приведенных расчетов, определяющим диаметром поплавка является режим с переливом через него воды при подаче максимального расхода трубопровода. Получены следующие расчетные диаметры поплавка: $d_{\text{non}} = 0,1279$ м; $d_{\text{non}} = 0,0808$ м; $d_{\text{non}} = 0,315$ м. Имеется возможность использовать стандартные трубы из ПВХ. Ближайший больший стандартный наружный диаметр составляет 355,0 мм. Учитывая простоту конструкции водовыпуска телескопического типа, его можно изготовить в условиях механических мастерских строительных организаций.

Ключевые слова: телескопические водовыпускные сооружения, круглоцилиндрический поплавок, трубы ПВХ

Формат цитирования: Хаек Бушра. Теоретическое обоснование параметров телескопического водовыпускного сооружения с круглоцилиндрическим поплавком // Природообустройство. 2023. № 1. С. 47-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-47-53.

© Хаек Бушра, 2023

Original article

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF A TELESCOPIC WATER OUTLET STRUCTURE WITH A CIRCULAR CYLINDRICAL FLOAT

Hayek Bushra, post graduate student

bushra.hayek@gmail.com

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», 127454, Moscow, Pryanishnikova, 19, Russian Federation

Annotation. The purpose of the research is to improve the design of a water outlet, to calculate a telescopic outlet with a round-cylindrical float and determining the diameter of the movable box float with the given parameters, which should ensure the reliability of its static position in all possible hydraulic modes of operation as a spillway with a round-cylindrical cap with a movable position of the crest, depending from the water level in the receiving main canal. The article presents the developed design of the outlet structure of the overflow outlet structure of the telescopic type, which has a simple design, reliability in operation, structural design with minimal hydraulic losses. The paper shows the results of theoretical studies of the proposed design of a telescopic outlet structure, three variants have been considered for the operation of the movable box, from the above calculations, the defining diameter of the float is the mode with water overflowing through it when the maximum flow rate of the pipeline is supplied. The following calculated diameters of the float were obtained; $d_{\text{flo}} = 0.1279$ m, $d_{\text{fl}} = 0.0808$ m

and $d_{pu} = 0.315\text{m}$. It is possible to use standard PVC pipes, the nearest larger standard outer diameter is $d = 0.355\text{ mm}$. considering the simplicity of the design of the telescopic type water outlet, it can be manufactured in the conditions of mechanical workshops of construction organizations.

Keywords: telescopic outlet structures, round-cylindrical float, PVC pipes

Format of citation: Hayek Bushra. Theoretical substantiation of the parameters of a telescopic water outlet structure with a circular cylindrical float // Prirodoobustroystvo. 2023. No.1. S. 47-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-47-53.

Введение. Водовыпускное сооружение мелиоративной насосной станции является одним из важнейших конструктивных элементов насосной станции с машинным подъемом воды. Для снижения гидравлических потерь энергии, снижения строительной стоимости расходов электроэнергии на подачу воды в оросительную сеть происходит постоянное совершенствование конструкций водовыпускных сооружений [1].

С целью дальнейшего совершенствования водовыпускного сооружения разработана новая конструкция водовыпуска телескопического типа [2], представленная на рисунке 1, с поплавком круглоцилиндрического поперечного сечения. На рисунке 1а показан продольный разрез при максимальном уровне воды в водоприемном бассейне, на рисунке 1б – продольный разрез при полностью опорожненном водоприемном несаморегулирующемся канале [3, 4] и напорном водоводе, на рисунке 1в – план телескопического водовыпуска.

Телескопический водовыпуск расположен в водоприемном бассейне 1, в голове магистрального канала гидромелиоративной системы, имеющего максимальный макс. УНБ и минимальный мин. УНБ уровень воды, определяемые графиком орошения сельскохозяйственных культур системы [4].

В практике применения линейных поплавковых конструкций при решении различных технических задач применяются в основном поплавки с круглоцилиндрическим поперечным сечением. Примером таких поплавков могут служить боновые заграждения на ГЭС для защиты водоприемников от плавающего мусора, боновые заграждения для защиты акваторий от загрязнения воды нефтепродуктами при аварии морских скважин и нефтеперевозящих судов и др. Поэтому применение круглоцилиндрических поплавков в рассматриваемой конструкции водовыпускного сооружения насосной станции придает ей определенную простоту. Однако несмотря на кажущуюся конструктивную простоту, конструкция поплавков с круглоцилиндрическим поперечным сечением обладает одним существенным недостатком: априори можно сказать, что сложно подобрать трубы требуемого по расчету

диаметра, а ввиду штучного производства водовыпусков телескопического типа организация изготовления труб для поплавков расчетного диаметра затруднительна. С учетом этих обстоятельств ниже рассмотрены расчеты поплавков с круглоцилиндрическим поперечным сечением.

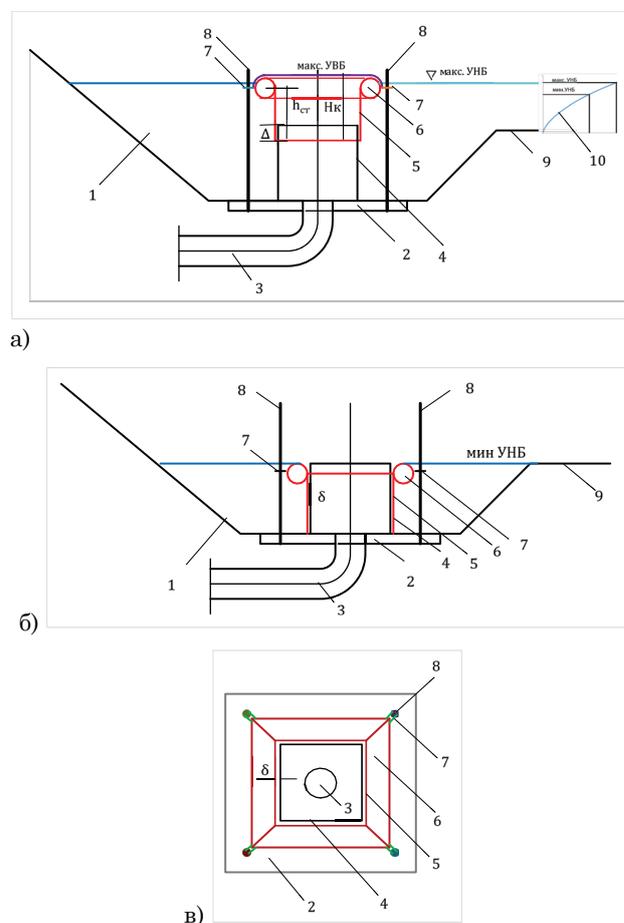


Рис. 1. Принципиальная конструкция водовыпуска телескопического типа:
а – продольный разрез при максимальном уровне воды в водоприемном бассейне;
б – продольный разрез при полностью опорожненном водоприемном канале и напорном водоводе; в – план конструкции

Fig. 1. The principal design of the water outlet of the telescopic type:
а – longitudinal section at the maximum water level in the water intake basin;
б – longitudinal section with a fully emptied water intake channel and a pressure conduit;
в – design plan

Материалы и методы исследований.

С целью разработки конструкции водовыпускного сооружения телескопического типа с круглоцилиндрическим поплавком задача гидравлических расчетов телескопического водовыпуска заключается в определении его геометрических параметров, требуемого диаметра поплавка и в рассмотрении гидравлических режимов его работы.

Таким образом, при работе телескопического водовыпуска возможны 3 гидравлических режима:

1-й режим – перелив отсутствует, коробки опорожнены;

2-й режим – перелив отсутствует, коробки заполнены водой до гребня поплавка;

3-й режим – происходит перелив воды из подвижного короба через гребень поплавка.

Гидростатические расчеты подвижного короба будут заключаться в определении диаметра поплавка, обеспечивающего равновесие его подъемной силы и сил тяжести конструктивных элементов подвижного короба, действующих вниз.

Режим отсутствия перелива при опорожненном водовыпуске. Этот режим возможен в случае остановки насоса на профилактическое обслуживание. Для расчета равновесия при этом режиме воспользуемся схемой рисунка 1б. Для дальнейших расчетов примем следующие обозначения.

За предельное равновесие подвижного короба примем условие его плавания при опорожненном водовыпуске, когда вода в магистральном канале будет отсутствовать, а в водоприемном отсеке уровень воды будет находиться на уровне гребня поплавка на отметке дна канала. Условие равновесия подвижного короба в этом случае примет вид:

$$\Sigma G_k = \gamma \cdot W_{\Pi}, \quad (1)$$

где ΣG_k – сумма весов подвижного короба с поплавком; W_{Π} – объем, вытесняемый поплавком воды; γ – плотность воды.

Как следует из рисунка по 1б, полная высота короба H_k составит:

$$H_k = h_k + \frac{d_{\text{поп}}}{2}, \quad (2)$$

Объем стенок короба V_k определим из выражения (пренебрегая малыми величинами высших порядков):

$$V_k = [B^2 - (B - 2 \cdot t_{\text{ст}})^2] \cdot H_k = 4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot h_k, \quad (3)$$

и соответственно вес стенок подвижного короба G_k составит:

$$G_k = 4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_k \cdot \gamma_{\text{ст}}. \quad (4)$$

Длина поплавка по гребню l_{Π} составит:

$$l_{\Pi} = 4 \cdot (B + d_{\text{поп}}), \quad (5)$$

$$\text{а его вес} - G_{\Pi} = 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\Pi} \cdot \gamma_{\text{поп}}, \quad (6)$$

Примем конструктивно вес колец, соединяющих подвижной короб с направляющими стойкам $g_{\text{кол}} = 2 \text{ кг} = 0,002 \text{ т.с.}$ Тогда суммарный вес подвижного короба составит:

$$\Sigma G = 4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot h_k \cdot \gamma_{\text{ст}} + 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\Pi} \cdot \gamma_{\text{поп}} + 0,002. \quad (7)$$

В статическом положении при опорожненном водовыпускном устройстве в предельном положении гребень поплавка должен находиться на уровне горизонта воды в канале в случае саморегулирующегося канала или на уровне дна, как показано на рисунке 1б, – в случае несаморегулирующегося канала.

Суммарный вес элементов подвижного короба должен уравниваться подъемной силой поплавка $\gamma W_{\text{поп}}$, которая в этом случае будет определяться по выражению:

$$\gamma \cdot W_{\text{поп}} = \gamma \cdot l_{\Pi} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{поп}}^2 + \frac{d_{\text{поп}}^2}{4} \right) = \left(\frac{3 \cdot \pi}{4} + 1 \right) \cdot \frac{d_{\text{поп}}^2}{4} \cdot 4 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma = 3,355 \cdot d_{\text{поп}}^2 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma, \quad (8)$$

где $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ – плотность воды.

Приравнявая (7) и (8), получим выражение для определения требуемого диаметра поплавка:

$$4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_k \cdot \gamma_{\text{ст}} + 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\Pi} \cdot \gamma_{\text{поп}} + 0,002 = 3,355 \cdot d_{\text{поп}}^2 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma, \quad (9)$$

откуда получаем

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_k \cdot \gamma_{\text{ст}} + \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\Pi} \cdot \gamma_{\text{поп}} + 0,0005}{3,355 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma}}. \quad (10)$$

Уравнение (10) не имеет аналитического решения в общем виде, поэтому его следует решать либо графоаналитически, либо методом последовательных приближений для конкретных значений параметров.

Ниже рассмотрен пример решения уравнения (10) применительно к водовыпускному сооружению телескопического типа насосной станции с расходом $3 \text{ м}^3/\text{с}$ и с напорным трубопроводом $D = 1,2 \text{ м}$.

В соответствии с изложенной методикой расчета параметров подвижного короба водовыпускного сооружения имеем следующие показатели:

– ширина стороны короба по внешнему обводу $B = 2D = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ м}$;

– толщина стенок подвижного короба $t_{\text{ст}} = 0,006 \text{ м}$;

– высота стенок подвижного короба $H_k = 1,2 \text{ м}$;

- плотность материала стенок $\gamma_{ст} = 1,4 \text{ т/м}^3$ [6];
- G_k – вес стенок подвижного короба;
- толщина стенок поплавок $t_{п} = 0,006 \text{ м}$;
- плотность материала поплавок $\gamma_{поп} = 1,4 \text{ т/м}^3$ [5].

Подставляя исходные данные в уравнение (10), получаем численное выражение для определения диаметра поплавок:

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2,4 - 0,006) \cdot 0,006 \cdot 1,2 \cdot 1,4 + 3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot 0,006 \cdot 1,4 + 0,0005}{3,355 \cdot (2,4 + d_{поп})}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0241 + 0,0264 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,0005}{3,355 \cdot (2,4 + d_{поп})}} \quad (11)$$

На рисунке 2 приведено графоаналитическое решение уравнения (11) для расчета диаметра поплавок при опорожненном водовыпуске.

В результате решения уравнения (11) получаем требуемый диаметр поплавок: $d_{п} = 0,128 \text{ м}$.

Гидростатические расчеты плавания подвижного короба при его заполнении водой и отсутствии перелива. При пуске насосного агрегата начнется заполнение водой напорного трубопровода и телескопического водовыпуска. По мере подъема воды в камере подвижного короба будет возникать выталкивающая Архимедова сила, действующая на его стенки. Максимальной величины она достигнет при подъеме уровня воды в подвижном коробе до уровня гребня поплавок. При этом одновременно с появлением выталкивающей силы, действующей на стенки короба, исчезнет добавочная выталкивающая гидростатическая сила давления воды, действующая на четверть поплавок, прикрепленного к коробу.

Уравнение равновесия подвижного короба в этом случае будет также иметь вид, определяемый в общем виде уравнением (1).

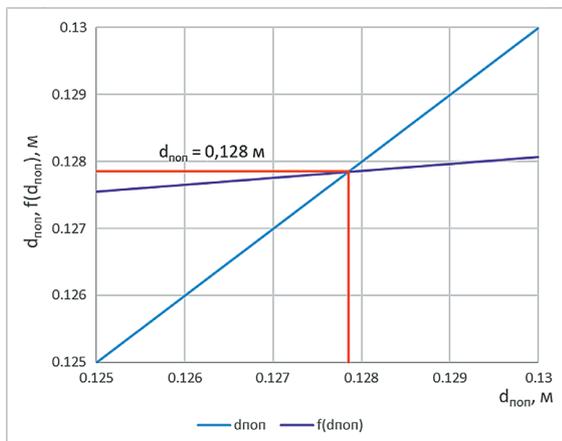


Рис. 2. Результаты графоаналитического решения уравнения (11)

Fig. 2. Results of graphoanalytical solution of the equation (11)

Раскрывая это уравнение скорректированными уравнениями (7) и (8), получим выражение для определения требуемого диаметра поплавок при данном расчетном режиме равновесия:

$$4 \cdot (B - t_{ст}) \cdot t_{ст} \cdot h_{к} \cdot (\gamma_{ст} - 1) + 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot t_{п} \cdot \gamma_{поп} + 0,002 = 4 \cdot \pi \cdot \frac{d_{поп}^2}{4} \cdot (B + d_{поп}) \cdot \gamma, \quad (12)$$

Откуда получаем

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{ст}) \cdot t_{ст} \cdot h_{к} \cdot \gamma'_{ст} + \pi \cdot (B + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot t_{п} \cdot \gamma_{поп} + 0,0005}{\pi \cdot (B + d_{поп}) \cdot \gamma}} \quad (13)$$

В уравнении (12) $\gamma'_{ст} = \gamma_{ст} - 1$ приведенная плотность стенок поплавок с учетом взвешивающего действия воды составляет: $\gamma'_{ст} = 1,4 - 1 = 0,4 \text{ т/м}^3$.

Подставляя исходные данные примера в уравнение (13), получаем численное выражение для определения диаметра поплавок:

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2,4 - 0,006) \cdot 0,006 \cdot 1,2 \cdot 0,4 + 3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot 0,006 \cdot 1,4 + 0,0005}{3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot \gamma}} = \sqrt{\frac{0,0241 + 0,0452 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,0005}{3,14 \cdot (2,4 + d_{поп})}} \quad (14)$$

На рисунке 3 приведено графоаналитическое решение уравнения (14) для рассматриваемого гидравлического режима, которое дает значение требуемого диаметра поплавок: $d_{п} = 0,0808 \text{ м}$.

Гидродинамические расчеты плавания короба при изливе из него воды через круглоцилиндрический поплавок. При изливе воды из плавающего короба действующие на него силы изменятся следующим образом:

- изменится виртуальный вес короба в связи с полным погружением его стенок в воду, при котором виртуальный удельный вес материала стенок составит: $\gamma'_{ст} = \gamma_{ст} - 1 = 0,4 \text{ т/м}^3$;

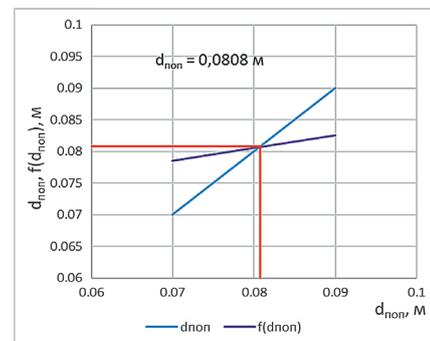


Рис. 3. Графоаналитическое решение уравнения (14)

Fig. 3. Graphoanalytical solution of the equation (14)

– уменьшится подъемная сила поплавок за счет того, что он будет полностью погружен в воду и объем вытесняемой им воды станет равен объему поплавка: $W = \pi \cdot d_{\text{поп}}^2 \cdot l_{\text{поп}} / 4 = 4 \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) d_{\text{поп}}^2 / 4 = \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) d_{\text{поп}}^2$;

– появляется пригрузка поплавка весом G_w слоя воды, переливающейся через гребень поплавок, который начнет работать как вакуумный водослив [7].

С учетом изменившихся сил выражение (11) для определения диаметра поплавка примет вид:

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot h_{\text{к}} \cdot \gamma' + \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + G_w + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma}}}. \quad (15)$$

Таким образом, для решения уравнения (15) необходимо определить величину пригрузки G_w поплавка весом слоя переливающейся воды.

Определение величины пригрузки G_w поплавка весом слоя переливающейся воды. При изливе воды из подвижного короба поплавков начнет работать как водослив практического профиля с вакуумным круглоцилиндрическим оголовком. На гребне оголовка установится критическая глубина, которой соответствует минимум энергии сечения. Во всех учебниках гидравлики и справочной литературе [5-7] приводится вывод критической глубины потока, подчиняющегося законам медленно изменяющегося движения. Формула для определения этой критической глубины имеет вид:

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot B^2}}, \quad (16)$$

где α – коэффициент Кориолиса; Q – расход; B – длина сливного фронта; g – ускорение свободного движения.

Однако при переливе воды через круглоцилиндрический гребень поплавок в потоке будут развиваться силы гидродинамического давления, благодаря которым уравнение полной энергии H_0 потока относительно плоскости сравнения, проходящей через дно потока на гребне водослива, примет вид [8]:

$$H_0 = h + \kappa_{\text{сп}} \cdot \frac{V^2}{g} \cdot h + \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (17)$$

где h – глубина потока; V – скорость потока; $\kappa_{\text{сп}}$ – среднее значение кривизны потока в рассматриваемом сечении.

Среднее значение кривизны потока $\kappa_{\text{сп}}$ можно определить [8] как

$$\kappa_{\text{сп}} = \frac{\kappa_{\text{вн}} + \kappa_{\text{п}}}{2}, \quad (18)$$

где $\kappa_{\text{вн}} = \kappa_{\text{поп}} = 1/r_{\text{поп}} = 2/d_{\text{поп}}$ кривизна внутренних донных струй на гребне поплавка; $\kappa_{\text{п}} = 1/R_{\text{п}}$ – кривизна поверхностных внешних струй потока на гребне поплавка, имеющих радиус кривизны $R_{\text{п}}$.

По С.М. Слисскому, при криволинейном очертании дна водовода и искривлении потока в вертикальной плоскости можно принимать радиус кривизны наружных струй потока как $R_{\text{п}} = r_{\text{поп}} + h = d_{\text{поп}} / 2 + h$, с учетом чего будем иметь [9]

$$\kappa_{\text{сп}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2}{d_{\text{поп}}} + \frac{2}{d_{\text{поп}} + 2 \cdot h} \right) = 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)}. \quad (19)$$

Поток на гребне водослива имеет выпуклую форму, которой соответствует отрицательное значение кривизны в (17). Подставив из (18) значение средней кривизны с обратным знаком в (17) и заменив $V = q/h$, получим

$$H_0 = h - 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h} + \alpha \cdot \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot h^2}. \quad (20)$$

Минимальным значение выражения (20) будет при $h = h_{\text{кр}}$. Продифференцировав (20) по h , получим выражение для определения критической глубины $h_{\text{кр}}$ с учетом наличия кривизны струй в вертикальной плоскости:

$$\frac{\partial H_0}{\partial h_{\text{кр}}} = 0 = 1 - 2 \cdot \frac{1}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}} + 4 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}}}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})^2} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}} + 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}}}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}^2} - \frac{\alpha \cdot q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}^3}. \quad (21)$$

Решив (21) относительно h^3 (для упрощения записи нижний индекс «кр» опущен), получим выражение для определения критической глубины потока на гребне поплавка:

$$h^3 = 2 \cdot \frac{h^2}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)} \cdot \frac{q^2}{g} - 4 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)^2} \cdot \frac{q^2}{g} \cdot h^2 - 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)} \cdot \frac{q^2}{g} \cdot h + \frac{\alpha \cdot q^2}{g}, \quad (22)$$

из которого после соответствующих преобразований получаем

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g} \cdot \sqrt[3]{\alpha + \frac{2 \cdot h_{\text{кр}}^2 \cdot [1 - 2 \cdot (d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}})]}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})} - 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}}}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})^2} \cdot h_{\text{кр}}^2}}}. \quad (23)$$

Уравнение (23) не имеет общего решения и решается графоаналитическим способом. Как видим по уравнению (23), при его решении необходимо знать диаметр поплавка, который по (15) в свою очередь зависит от величины пригрузки переливающимся слоем воды. Для оценки влияния кривизны потока на величину критической глубины определим критическую глубину

при диаметре поплавок: $d_{\text{поп}} = 0,20; 0,25; 0,30; 0,4$ м. В этом случае для рассмотренного выше примера с диаметром трубопровода и шириной подвижного короба под $B = 2D = 2,4$ м с расходом $Q = 3 \text{ м}^3/\text{с}$ для плоского потока с коэффициентом Кориолиса будет $\alpha = 1,05$. Графическое решение уравнения (23) для этих диаметров поплавок приведено на рисунке 4.

Соответственно получаем следующие значения величин критической глубины с учетом кривизны потока: $h_{\text{кр.крив.}} = 0,1875; 0,1865; 0,1856$ м. Относительная величина критической глубины к напору H_0 для приведенных диаметров поплавок составляет: $h_{\text{кр.крив.}}/H_0$ $0,730 \approx 0,79; 0,735 \approx 0,79; 0,740 \approx 0,79$; в среднем $h_{\text{кр.крив.}}/H_0 = 0,735$.

Как следует из приведенных расчетов, предварительно можно принять диаметр поплавок равным $0,2$ м и критическую глубину $h_{\text{кр.крив.}}$ равную $0,1875$ м.

Максимальная пригрузка поплавок переливающимся слоем воды будет при неподпертом со стороны нижнего бьефа режиме истечения воды через гребень поплавок. В первом приближении осредненную толщину слоя переливающейся воды на проекции диаметра поплавок можно принять равной изменяющейся от величины H_0 на переднем конце диаметра гребня поплавок, равной критической глубине $h_{\text{кр.крив.}}$ и за гребнем поплавок. Пригрузка поплавок переливающимся слоем составит:

$$G_w = 4 \cdot \gamma \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \left(\frac{H + h_{\text{кр}}}{2} + h_{\text{кр}} \right) \cdot \frac{d_{\text{поп}}}{2} = \gamma \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot (H + 3 \cdot h_{\text{кр}}). \quad (24)$$

Как следует из источника [4], по при принятой схеме перелива воды через гребень поплавок он будет работать как вакуумный водослив. Предварительно приняв значение коэффициента

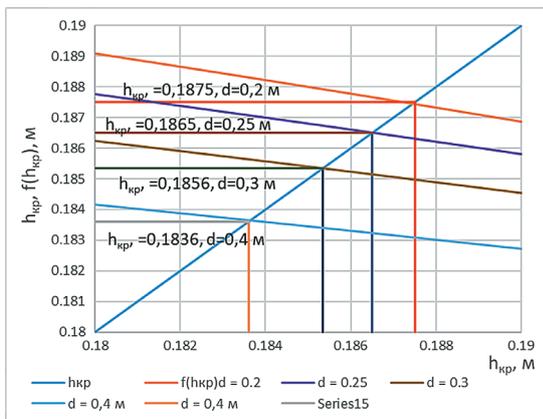


Рис. 4. Результаты графоаналитического решения уравнения (23)

Fig. 4. Results of graphoanalytic solution of the equation (23)

расхода $m = 0,5$ при неподтопленном переливе через гребень поплавок, получаем

$$Q = m \cdot 4 \cdot (B + d_{\text{п}}) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0^3},$$

откуда получаем величину расчетного напора H_0 для рассматриваемого примера:

$$H_0 = \left(\frac{Q}{4 \cdot m \cdot (B + d_{\text{п}}) \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{3,0}{4 \cdot 0,5 \cdot (2,4 + 0,2) \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = 0,257 \text{ м.}$$

Принимая во внимание ранее вычисленное значение критической глубины $h_{\text{кр}} = 0,1875$ м, получаем относительную величину критической глубины $h_{\text{кр}}/H = 0,1875/0,257 = 0,73$. Это дает среднее гидродинамического давления переливающегося потока на гребень оголовка поплавок $(H + 3 h_{\text{кр}}) = (1 + 3 \cdot 0,73) H = 3,267H$, с учетом чего уравнение (24) примет вид:

$$G_w = \gamma \cdot 3,19 \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot H,$$

Формула для определения требуемого диаметра поплавок при переливе через него воды из подвижного короба при максимальном расходе воды трубопровода примет вид:

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_{\text{к}} \cdot \gamma' + \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + \gamma \cdot 0,798 \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot H + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma_{\text{в}}}}. \quad (25)$$

Подставляя в уравнение (25) параметры рассматриваемого примера, получим выражение для определения диаметра поплавок при переливе максимального расхода, обеспечивающего его непотопляемость при положении гребня поплавок на уровне воды в приемном канале, что после соответствующих преобразований дает

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0965 + 0,181 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} + 0,798 \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot H + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{\text{поп}})}}. \quad (26)$$

Графоаналитическое решение уравнения (26) приведено на рисунке 5, в соответствии с которым расчетный диаметр поплавок при переливе максимального расхода $Q = 3 \text{ м}^3/\text{с}$ должен равняться $0,3155$ м.

Таким образом, на основании приведенных расчетов получаем, что гидравлическим режимом, определяющим диаметр поплавок подвижного короба, является режим с переливом воды через гребень поплавок при подаче насосной станцией максимального расхода. В данном случае можно использовать стандартные трубы из поливинилхлорида [10], которые имеют широкий диапазон стандартных диаметров и могут

быть приспособлены также для широкого диапазона параметров подвижного короба и расходов напорного трубопровода. Для полученного определяющего диаметра поплавок 0,315 м подойдет

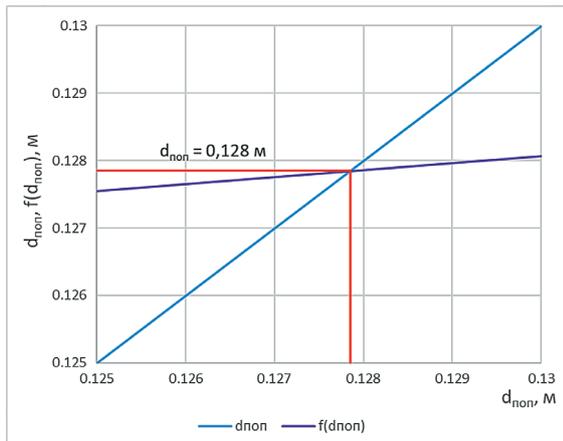


Рис. 5. Результаты графоаналитического решения уравнения (26)

Fig. 5. Results of graphoanalytic solution of the equation (26)

Список использованных источников

1. Али М.С., Беглецов Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции: учебник для вузов. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 330 с.
2. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Б. Гидравлическое обоснование работы телескопического водовыпускного сооружения в незатопленном режиме // Природообустройство. 2022. № 5. С. 114-120.
3. Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Золотаревский А.А. Гидротехнические мелиорации: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2021. 317 с.
4. Костяков А.Н. Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1960. 662 с.
5. Павловский Н.Н. Гидравлический справочник. Л. – М.: ОНТИ. НКТП. СССР, 1937. 866 с.
6. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник. М.: Колосс, 2004. 650 с.
7. Справочник по гидравлическим расчетам / Под общ. ред. П.Г. Киселёва. М.: «Энергия», 1972. 312 с.
8. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Б. Теоретические расчеты параметров струи телескопического водовыпуска мелиоративной насосной станции // Сборник научных трудов. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. Т. 1. С. 383-362.
9. Слиский С.М. Гидравлические расчеты высокоскоростных гидротехнических сооружений: справочник.. М.: Энергоатомиздат, 1979. 335 с.
10. ГОСТ 32413-2013. Межгосударственный стандарт: трубы и фасонные части из непластифицированного поливинилхлорида для систем наружной канализации. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014.

Критерии авторства

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

Статья поступила в редакцию 09.01.2023

Одобрена после рецензирования 23.01.2023

Принята к публикации 23.01.2023

ближайший больший стандартный диаметр трубы $d_{em} = 355,0$ мм

Выводы

Таким образом, для трех рассмотренных гидравлических вариантов работы подвижного короба с круглоцилиндрическим поплавком для параметра трубопровода насосной станции получены следующие расчетные диаметры поплавка: $d_{поп} = 0,1279$ м; $d_{поп} = 0,0808$ м; $d_{поп} = 0,315$ м.

Как следует из приведенных расчетов, определяющим диаметром поплавка является режим с переливом через него воды при подаче максимального расхода трубопровода.

Для данного конкретного случая имеется возможность использовать стандартные трубы из ПВХ, ближайший больший стандартный наружный диаметр составляет: $d_{em} = 355,0$ мм.

Учитывая простоту конструкции водовыпуска телескопического типа, его можно без труда изготовить в условиях механических мастерских строительных организаций.

References

1. Ali M.S. Nasosy i nasosnye stantsii: uchebnik dlya vuzov / M.S. Ali, D.S. Begletsov, V.F. Chebaevskij. M.: RGAU-MSHA, 2015. 330 s.
2. Gurjev A.P. Gidravlichesкое обоснование raboty teleskopicheskogo vodovypuskного соорuzheniya v nezatoplennom rezhime / A.P. Gurjev, N.V. Khanov, Haek Bushra A. I.N // M.: Prirodoobustrojstvo. 2022. № 5. S. 114-120.
3. Teodoronskij V.S. Gidrotehnicheskie melioratsii: uchebnik dlya vuzov/ V.S. Teodoronskij, E.D. Sabo, A.A. Zolotarevskij. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Yurajt, 2021. 317 s.
4. Kostyakov A.N. Osnovy melioratsij. M.: Selhozgiz. 1960. 662 s.
5. Pavlovskij N.N. Gidravlichesкий справochnik / N.N. Pavlovskij. L. – M.: ONTI. NKTP. SSSR, 1937. 866 s.
6. Shterenliht D.V. Gidravlika. M.: Koloss, 2004. 650 s.
7. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam / pod obshch. red. P. G Kiselyeva. – M.: "Energiya", 1972. 312 s.
8. Gurjev A.P., Khanov N.V., Haek B. Teoreticheskie raschyety parametrov strui teleskopicheskogo vodovypuska meliorativnoj nasosnoj stantsii / Sb. nauchn. Tr. M.: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2021. T. 1. 383-362.
9. Sliskij S.M. Gidravlicheskie raschyety vysokoskorostnyh gidrotehnicheskikh соорuzhenij. M.: Energoatomizdat, 1979. 335 s.
10. GOST 32413-2013 Mezhsudarstvennyj standart: trubyy i fasonnye chasti iz neplastifitsirovannogo polivinilhlorida dlya sistem naruzhnoj kanalizatsii. Tehnicheskiesloviya. M.: Standartinform, 2014.

Criteria of authorship:

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

The article was submitted to the editorial office 09.01.2023

Approved after reviewing 23.01.2023

Accepted for publication 23.01.2023

Оригинальная статья

УДК 631.6.02

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61



АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Жезмер Валентин Борисович^{1✉}, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник
SPIN-код: 3974-7933; AuthorID: 897093; //orcid.org/0000-0003-2889-5638; v1532133@yandex.ru

Адьяев Санал Борисович¹, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник
Scopus: 57220038266; SPIN-код: 1952-3108; AuthorID: 783931; //orcid.org/0000-0001-8012-692X; a.s.b08@mail.ru

Шабанов Рустам Михайлович², канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник
SPIN-код: 4514-9455; AuthorID: 1128620; //orcid.org/0000-0002-4739-0945; rustam1_9@mail.ru

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

² Калмыцкий филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова»; 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, пл. им. О.И. Городовикова, 1, Россия

Аннотация. В настоящее время сложилась ситуация, когда средства на поддержание в работоспособном состоянии инженерных мелиоративных систем используются недостаточно рационально. Одними из причин этого являются низкий уровень проработки целей и задач ремонта или реконструкции сооружений, игнорирование запросов организаций, непосредственно занимающихся эксплуатацией гидромелиоративных систем и заинтересованных в регулярной, достаточной и безопасной водоподаче. Вопрос выбора способа восстановления объектов приобретает первостепенное значение. На каждой гидромелиоративной системе путем детального анализа можно выделить так называемое узкое звено, ликвидация которого, требующая сравнительно незначительных затрат, может существенно повысить производительность ГМС. Разработан алгоритм анализа ГМС с целью выявления причин изменения (снижения) эксплуатационной надежности и производительности системы, возникших в процессе эксплуатации. Установлено, что алгоритмы анализа ГМС, в целом схожие по структуре, различаются в зависимости от типа орошения, структуры орошаемых площадей и водопотребности выращиваемых культур. В условиях дефицита финансовых ресурсов для увеличения производительности системы вместо капитального ремонта или реконструкции подчас можно ограничиться устранением только части неполадок, входящих в состав работ при текущем ремонте мелиоративных объектов. Такие неполадки, представляющие собой узкое звено производства, в каждом отдельном случае определяются путем тщательного анализа работы ГМС. Необходимость проведения капитального ремонта или реконструкции указанные действия не устраняют, однако дают возможность эксплуатации ГМС с приемлемой производительностью на протяжении предшествующего ремонту периода. Разработанный алгоритм использовался при анализе конкретного объекта (канала Р-3, Малодербетовский и Октябрьский районы Республики Калмыкия) и показал высокую эффективность.

Ключевые слова: водопользование, негативное воздействие вод, гидромелиоративные системы (ГМС), гидротехнические сооружения (ГТС), эффективность водоподачи, безопасность ГТС

Формат цитирования: Жезмер В.Б., Адьяев С.Б., Шабанов Р.М. Алгоритм анализа гидромелиоративной системы с целью выявления причин снижения эксплуатационной надежности и производительности // Природообустройство. 2023. № 1. С. 54-61. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61.

© Жезмер В.Б., Адьяев С.Б., Шабанов Р.М., 2023

Original article

ALGORITHM FOR ANALYZING A HYDRO MELIORATION SYSTEM TO IDENTIFY THE CAUSES OF A DECREASE IN OPERATIONAL RELIABILITY AND PRODUCTIVITY

Zhezmer Valentin Borisovich^{1✉}, candidate of agricultural sciences, leading researcher
SPIN-код: 3974-7933; AuthorID: 897093; //orcid.org/0000-0003-2889-5638; v1532133@yandex.ru

Adjyaev Sanal Borisovich¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory
Scopus: 57220038266; SPIN-код: 1952-3108; //orcid.org/0000-0001-8012-692X; AuthorID:783931; a.s.b08@mail.ru

Shabanov Rustam Mikhailovich², candidate of agricultural sciences senior researcher
SPIN-код: 4514-9455; AuthorID: 1128620; //orcid.org/0000-0002-4739-0945; rustam1_9@mail.ru

¹All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, bldg.2. Russia

²Kalmyk branch FSBSI «All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; 358011, Republic of Kalmykia, Elista, O.I. Gorodovikov Square, 1, Russia

Annotation. Currently, there is a situation where the funds for maintaining the engineering reclamation systems in working condition are used rationally enough. One of the reasons is the low level of elaboration of the goals and objectives of the repair or reconstruction of structures, ignoring the requests of organizations directly involved in the operation of hydromelioration systems and interested in regular, sufficient and safe water supply. The question of choosing how to restore objects is of paramount importance. On each hydro-reclamation system, a detailed analysis can identify the so-called «bottleneck», the elimination of which, which requires relatively insignificant costs, can significantly increase the productivity of the HMS. An algorithm for analyzing HMS has been developed in order to identify the causes of changes (decreases) in the operational reliability and performance of the system that arose during operation. It has been established that the algorithms for analyzing HMS, generally similar in structure, differ depending on the type of irrigation, the structure of the irrigated areas and the water consumption of the crops grown. In conditions of a shortage of financial resources, in order to increase the productivity of the system, instead of major repairs or reconstruction, it is sometimes possible to limit the elimination of only a part of the problems that are part of the work during the current repair of reclamation facilities. Such problems, which are a «bottle neck of production», in each individual case are determined by a thorough analysis of the work of the HMS. These actions do not eliminate the need for major repairs or reconstruction, but they make it possible to operate the HMS with acceptable performance during the period preceding the repair. The developed algorithm was used in the analysis of a specific object (channel R-3, Maloderbetovskiy and Oktyabrskiy district of the Republic of Kalmykia) and showed high efficiency.

Keywords: water use, negative impact of waters, hydro melioration systems (HMS), hydraulic technical structures (HTS), water supply efficiency, safety of HTS

Format of citation: Zhezmer V.B., Adjyaev S.B., Shabanov R.M. Algorithm for analyzing a hydro melioration system to identify the causes of a decrease in operational reliability and productivity // Prirodobustroystvo. 2023. No.1. S. 54-61. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-54-61.

Введение. В настоящее время восстановить необходимую работоспособность и эксплуатационную надежность сооружений можно (исходя из состояния значительной части гидромелиоративных систем) только путем капитального ремонта или реконструкции. Полная реконструкция гидромелиоративной системы имеет ряд следующих существенных недостатков:

1. Сложный процесс экспертизы проектной документации на объекты.
2. Необходимость прекращения работы системы на весь срок реконструкции – подчас значительный.
3. Высокая стоимость работ. Стоимость реконструкции напрямую зависит от степени износа сооружений, в среднем составляющей 70% (некоторой части систем – 90-100% [1]).
4. Низкая рентабельность. Известно, что работы считаются рентабельными, если затраты на их проведение не превышают 70% стоимости нового сооружения [2]. В нашем же случае

стоимость реконструкции некоторых мелиоративных систем будет сопоставима с новым строительством.

5. Практическая невозможность достижения проектных показателей работы при реконструкции систем с высокой степенью износа вследствие возрастающей вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций.

6. Нерентабельность полной реконструкции ГМС, возникающая при изменении способов эксплуатации мелиорируемых земель, ведущих к снижению потребности в орошаемой воде.

Вследствие указанных причин вопрос выбора способа восстановления гидромелиоративных объектов приобретает первостепенное значение. На каждой системе путем детального анализа можно выделить так называемые узкие звенья, ликвидация которых, требующая сравнительно низких затрат, может существенно повысить производительность ГМС.

Материалы и методы исследований.

В ходе работы, на основании существующих методик по защите и безопасной эксплуатации ГТС, а также натуральных наблюдений за состоянием гидромелиоративных систем в различных регионах аридной зоны Европейской части Российской Федерации, определены способы повышения надежности и производительности ГМС за счет выявления и устранения причин снижения эксплуатационных характеристик. Научно-методические основы исследований базируются на работах отдела гидротехники и гидравлики и лаборатории безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса, ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова».

Результаты и их обсуждение. Гидромелиоративные системы проектировались с условием полного водообеспечения орошаемых площадей в согласовании с водопотребностью выращиваемых культур на протяжении всего срока орошения. Часто наблюдаемые в настоящее время периоды острого водodefицита обусловлены как неспособностью водоисточника обеспечить необходимый уровень водоподдачи, так и теми неблагоприятными изменениями в работе ГМС, которые произошли в процессе длительной эксплуатации системы. Выявление и устранение причин водodefицита являются целью разрабатываемого алгоритма.

Алгоритмы анализа ГМС, в целом схожие по структуре, различаются в зависимости от типа орошения, структуры орошаемых площадей и водопотребности выращиваемых культур.

Наиболее просто выглядит алгоритм анализа при необходимости затопления лиманов, которое происходит одноразово в начале сезона вегетации [3]:

1. Определение площадей орошения, водоподачу на которые осуществляет данная гидромелиоративная система.
2. Определение объема оросительной воды, необходимого для водоресурсного обеспечения орошаемых площадей.
3. Оценка способности водоисточника обеспечить подачу необходимого количества оросительной воды.
4. Оценка способности ГМС осуществлять доставку необходимого для водоресурсного обеспечения площадей орошения количества оросительной воды.
5. Причины (при невозможности водоресурсного обеспечения площадей орошения) низкой производительности мелиоративной системы.
6. Анализ состояния, степени износа, КПД и пропускной способности гидротехнических

сооружений, входящих в данную гидромелиоративную систему.

7. Анализ функционирования гидромелиоративной системы, поиск узких мест в ее работе, перечень мероприятий по повышению эффективности ГМС (при условии сохранения безопасности эксплуатации).

Для решения вопроса вовлечения в оборот деградированных мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения, согласно Постановлению Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731 [4], пп. 1-4, с помощью алгоритма можно оценить способность гидромелиоративной системы к водообеспечению как существующих в настоящее время площадей орошения, так и планируемых к вовлечению в оборот.

Гораздо более сложным является анализ способов орошения, требующих регулярной водоподдачи в течение всего вегетационного сезона. При этом составляется график водоподдачи по датам, согласованный с эксплуатационными организациями, и оценивается способность водоисточника и гидромелиоративной системы подавать необходимое количество воды в должные сроки. Ниже перечислены вопросы, необходимые для анализа работоспособности, определения КПД и эксплуатационной надежности канала, осуществляющего регулярную водоподачу.

1. Назначение канала.
2. Длина канала.
3. Конфигурация канала: ширина по дну (проектная и реальная); ширина по верху (проектная и реальная); угол заложения откосов (проектный и реальный); глубина канала (проектная и реальная); профиль канала (проектный и реальный).
4. Сведения о потребности в воде для орошения (затапливаемые площади, мощность слоя воды, объем водоподдачи по срокам и т.д.).
5. Характеристика водоподдачи в гидромелиоративную систему (табл. 1).
6. Места интенсивной фильтрации (координаты, протяженность).
7. Места зарастания профиля канала (координаты, протяженность).
8. Места перелива воды через гребень канала при различных расходах (координаты, протяженность).
9. Места интенсивного зарастания откосов канала деревьями (координаты, протяженность).
10. Анализ функционирования данной гидромелиоративной системы, поиск узких мест в ее работе, перечень мероприятий по повышению эффективности ГМС (при условии сохранения безопасности эксплуатации).

Таблица 1. Характеристика водоподачи в гидромелиоративную систему

Table 1. Characteristics of water supply to the hydro melioration system

№№ п/п No. itm	Календарные сроки Calendar dates	Расход воды в голове канала, м ³ /сек Water consumption in the canal head, m ³ /s		Расход воды в месте раздачи, м ³ /сек Water consumption at the distribution point, m ³ /s		Потери воды, % Water loss, %	
		Проектный Design	Реальный Real	Проектный Design	Реальный Real	Проектный Design	Реальный Real
	ИТОГО TOTAL						

Анализ гидромелиоративной системы согласно приведенному алгоритму может производиться с целью решения целого спектра задач, наиболее распространенными из которых являются:

- обоснование заявки на ремонт/реконструкцию сооружения;

- использование результатов анализа ГМС в качестве основы для составления разделов технического задания на ремонт/реконструкцию;

- определение целесообразности дальнейшей эксплуатации гидромелиоративной системы или ее отдельных элементов;

- определение возможности вовлечения в оборот деградированных мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения;

- определение узких мест в работе системы с целью их устранения и повышения производительности ГМС;

- оценка возможности координации мероприятий по водопользованию при эксплуатации гидромелиоративной системы, в том числе путем перепрофилирования назначения ГМС;

- оценка эффективности работы гидромелиоративных систем с высокой степенью износа гидротехнических сооружений, возникших вследствие длительной эксплуатации, а также отсутствия технического обслуживания, текущих и периодических ремонтов.

Разработанный алгоритм был использован с целью выявления причин снижения эксплуатационной надежности гидромелиоративной системы, а также разработки принципов ремонта и реконструкции, обеспечивающих эффективное использование водных ресурсов и надежность сооружений, при анализе конкретного объекта – канала РЗ, расположенного в Малодербетовском и Октябрьском районах Республики Калмыкия.

К потенциально опасным можно отнести участки каналов в насыпи, на косогоре и в неустойчивых грунтах, так как при эксплуатации

на таких участках частыми являются различные негативные процессы, связанные с прорывом дамб, значительными размывами их русел, оползнями [5]. По существу дамбы каналов, особенно на участках в насыпи и на косогоре, представляют собой напорный фронт – такой же, как и для грунтовых плотин. Поэтому каналы на указанных участках необходимо считать потенциально опасными объектами, следовательно, для них должны быть разработаны методы расчета риска возможной аварии [6].

Следует отметить, что в настоящее время состояние канала на значительной части русла является приемлемым (рис. 1).

Правила эксплуатации гидромелиоративных систем, принципы соблюдения эффективной и безопасной работы гидротехнических сооружений базируются на ряде законов и сводов правил [7-10]. В основополагающем документе «Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений», 2020) [11] перечислены особенности эксплуатации оросительных систем. Как следует из представленных ниже фотографий (рис. 2-4), в ряде мест требования



Рис. 1. Канал РЗ. Приемлемое состояние канала на данном участке

Fig. 1. Canal P3. In this section, the canal condition is acceptable

указанного документа нарушаются. Вследствие этого наблюдается снижение пропускной способности канала ввиду неблагоприятного воздействия ряда факторов, обусловленных длительностью эксплуатации и высокой степенью износа сооружений.

Анализ водоподачи по каналу РЗ согласно разработанному алгоритму

1. Назначение канала – орошение рисовых чеков, затопление лиманов и обводнение территорий в Малодербетовском и Октябрьском районах Республики Калмыкия.

2. Протяженность канала на территории Республики Калмыкия – 58,7 км.

3. Конфигурация канала – трапециевидальная

– ширина по дну (проектная и реальная) – 9/7 м;

– ширина по верху (проектная и реальная): – 19/17 м;

– глубина канала (проектная и реальная) – 6/4 м;

– проектная площадь сечения канала – 84 м²;

– реальная площадь сечения канала – 48 м².

Реальная площадь сечения канала в настоящее время составляет 57% от проектной. Проектная глубина канала – 6 м. Согласно СП «Мелиоративные системы и сооружения» [12], п. 6.13.7, превышение гребней дамб и бровок берм каналов над максимальным уровнем воды при расходе воды в канале 30-50 м³/с составляет 50 см, 50-100 м³/с – 60 см. Следовательно, проектная глубина наполнения канала меньше – около 5,5 м; реальная глубина наполнения – 3,5 м; соответственно проектное сечение – 77 м², реальное – 42 м², или 55% от проектного.

4. Сведения по потребности в воде для орошения: затопляемые площади, объем водоподачи по срокам и т.д. (2022 г.).

Площадь затопляемых рисовых чеков – 2714 га.

Потребность в воде – 18,0-21,8 тыс. м³/га.

Подача воды по каналу РЗ:

– посеvy риса – 64,000 млн м³;

– лиманы/обводнение – 28,990 млн м³;

– потери при транспортировке – 30,997 млн м³ (25%).

Всего: 123,987 млн м³.

5. Характеристика водоподачи в гидромелиоративную систему (табл. 2).

6. Места интенсивной фильтрации (координаты, протяженность):

– охотничья труба (Лиман охотничий). Координаты – 47°77'72.75"С, 45°13'78.98"В. Просачивание воды через дамбу канала.



Рис. 2. Места зарастания профиля канала, а также обрушивания откосов вследствие использования канала в качестве водопоя для крупного рогатого скота

Fig. 2. Places of overgrowth of the canal profile, as well as slope collapse due to the use of the canal as a watering place for cattle



Рис. 3. Места интенсивного зарастания откосов канала деревьями

Fig. 3. Places of intensive overgrowth of the canal slopes by trees



Рис. 4. Места перелива воды через гребень канала

Fig. 4. Places of overflow of water through the crest of the canal

7. Места зарастания профиля канала тростником (координаты, протяженность): на всем протяжении канала РЗ, составляющем 58,7 км, отмечается зарастание профиля канала тростником.

8. Места перелива воды через гребень канала при различных расходах (координаты, протяженность): в отдельные годы при повышенных расходах случаи перелива воды через гребень канала имеют место (рис. 4), координаты – 48°10'40.69"С, 44°58'05.98"В. При обследовании авторами канала 13-18 июня 2022 г. случаи перелива обнаружены не были.

9. Места интенсивного зарастания откосов канала деревьями (координаты, протяженность): интенсивное зарастание откосов канала деревьями обнаружено на протяжении 15 км. Координаты начальной точки (выше по течению) – 48°09'21.62"С, 45°00'13.82"В, конечной точки – 48°02'45.47"С, 45°03'50.65"В.

10. Характеристика гидротехнических сооружений канала.

– 244 пикет, координаты – 47°93'64.32"С, 45°13'90.18"В; два затвора перегораживающего устройства из четырех не функционируют.

11. Места нарушения профиля канала: – координаты – 48°09'03.47"С, 45°05'17.02"В. Данное место постоянно используется в качестве водопоя для скота, вследствие чего наблюдаются обрушение склонов канала и нарушение конфигурации откосов, создающее препятствие движению воды.

12. Анализ функционирования данной гидромелиоративной системы, поиск узких мест в ее работе, перечень мероприятий по повышению эффективности ГМС (при условии сохранения безопасности эксплуатации).

Основное узкое место в работе данной гидромелиоративной системы – низкая пропускная способность канала, возникшая вследствие длительной эксплуатации, а также отсутствия технического обслуживания, текущего и периодического ремонта.

Основной мерой по восстановлению работоспособности и надежности ГМС является доведение площади сечения канала до проектных показателей. На канале РЗ подъезд техники можно осуществить не везде вследствие интенсивного зарастания откосов канала деревьями. Облегчает задачу то, что из 58,7 км протяженности канала

Таблица 2. Забор воды по каналу РЗ Сарпинской обводнительно-оросительной системы в 2022 г.

Table 2. Water intake through the R3 Canal of the Sarpinsky Irrigation System in 2022

№№ п/п <i>NoNo p/p</i>	Месяц <i>Month</i>	Декада <i>Decade</i>	Объемподаваемой воды, млн м ³ <i>Volume of water supplied, mln. m³</i>
1	Март <i>March</i>	II	2,70
2		III	3,56
3	Апрель <i>April</i>	I	3,91
4		II	5,37
5		III	6,62
6	Май <i>May</i>	I	11,54
7		II	12,8
8		III	5,36
9	Июнь <i>June</i>	I	8,7
10		II	9,86
11		III	8,56
12	Июль <i>July</i>	I	6,22
13		II	7,45
14		III	8,10
15	Август <i>August</i>	I	5,93
16		II	5,13
17		III	6,07
18	Сентябрь <i>September</i>	I	2,89
19		II	2,23
20		III	0,99

Примечание: (подекадно, в том числе март, апрель, начало мая – затопление лиманов, в дальнейшем – водоснабжение посевов риса).

Note: (per decades, including March, April, early May – flooding of estuaries, in the future – water supply of rice crops).

древесная растительность наблюдается на протяжении около 15 км. Следовательно, ремонтные работы на канале РЗ необходимо осуществлять поэтапно, а именно:

1. Удаление древесной растительности.
2. Очистка профиля канала от тростника.
3. Восстановление дамбы в местах разрушения.
4. Доведение площади сечения канала до проектных показателей путем расчистки русла.

Указанные мероприятия позволяют осуществлять водоподачу посредством канала РЗ на приемлемом уровне, не допуская разрушения откосов и перелива воды через гребень дамбы. Восстановление ГТС гидромелиоративной системы можно осуществлять поэтапно, в соответствии с уровнем финансирования. Необходимость проведения капитального ремонта или реконструкции указанные действия не устраняют, однако дают возможность эксплуатации ГМС с приемлемой производительностью на протяжении предстоящего ремонту периода.

Выводы

1. Анализ ГМС согласно разработанному алгоритму может производиться с целью решения целого спектра задач. Алгоритмы анализа, схожие по структуре, различаются в зависимости от типа орошения, структуры орошаемых площадей и водопотребности выращиваемых культур.

Список использованных источников

1. СО 34.20.611-2003. Нормативы затрат в процентах от балансовой стоимости конкретных типов и видов основных средств (согласованы Минэнерго России, Федеральной энергетической комиссией Российской Федерации, ОАО РАО «ЕЭС России» и введены в действие с 1 марта 2004 г.). URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b05/4293850508.pdf>. (дата обращения: 15.07.2022).
2. Реконструкция зданий и сооружений: учебник для вузов / А.Л. Шагин и др.; Под ред. А.Л. Шагина. М.: Высшая школа, 1991. 352 с.
3. **Жезмер В.Б., Адьяев С.Б.** Оценка возможности вовлечения в оборот дополнительных площадей орошаемых лиманов на территории Малодербетовского района, Республика Калмыкия // Природообустройство. 2022. № 4. С. 25-33.
4. О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации: постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731, с изм. и доп. URL: <https://base.garant.ru/400773886/> (дата обращения: 21.06.2022).
5. **Мирицхулава Ц.Е.** О надежности крупных каналов. М.: Колос, 1981. 318 с.
6. **Бакланова Д.В.** Расчетное обоснование вероятности разрушения потенциально опасных участков

2. Причины низкого КПД гидромелиоративной системы:

- наличие значительных потерь воды при водоподаче;
- снижение пропускной способности и разрушение откосов канала вследствие водопоя скота;
- потери воды и разрушение откосов канала вследствие превышающего пропускную способность уровня водоподачи;
- потери воды вследствие просачивания через дамбу канала;
- отсутствие или нерегулярность выполнения технического обслуживания, текущего и периодического ремонта сооружений.

3. В условиях дефицита финансовых ресурсов для увеличения производительности системы вместо капитального ремонта или реконструкции можно ограничиться подчас устранением только части неполадок. Такие неполадки, представляющие собой узкое звено производства, в каждом отдельном случае определяются путем тщательного анализа работы ГМС. Необходимость проведения капитального ремонта или реконструкции указанные действия не устраняют, однако дают возможность эксплуатации ГМС с приемлемой производительностью на протяжении предстоящего ремонту периода.

4. Разработанный алгоритм использовался при анализе конкретного объекта (канал Р-3, Малодербетовский и Октябрьский районы Республики Калмыкия) и показал высокую эффективность.

References

1. SO 34.20.611-2003 Normativy zatrat v protsen-takh ot balansovoy stoimosti konkretnykh tipov i vidov osnovnykh sredstv (soglasovany Minenergo Rossii, Federalnoy energeticheskoy komissiyey Rossiyskoy Federatsii, ОАО RAO «EES Rossii» i vvedeny v deystviye s 1 mar-ta 2004g.). ohrana truda.ru upload/iblock/b05/4293850508.pdf. (data obrashcheniya 15.07.2022 g.).
2. Rekonstruktsiya zdaniy i sooruzheniy: ucheb. Dlya vuzov / A.L. Shagin i dr.; pod red. A.L. Shagina. M.: Vysshaya shkola, 1991. 352 s.
3. **Zhezmer V.B., Adoyayev S.B.** Otsenka vozmozhnosti вовлечения v obrorot dopolnitelnykh ploshchadey oroshayemykh limanov na territorii Ma-loderbetovskogo rayona, Respublika Kalmykiya. // «Prirodoobustroystvo». № 4. 2022. S. 25-33.
4. Postanovleniye Pravitelstva RF ot 14 maya 2021 g. N731 «O Gosudarstvennoy programme effektivnogo вовлечения v obrorot zemel selskokhozyaystvennogo naznache-niya i razvitiya meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii» (s izmeneniyami i dopolneniyami) base.garant.ru/400773886/ (obrashcheniye 21.06.2022 g.)
5. **Mirtskhulava Ts.Ye.** O nadezhnosti krupnykh kanalov / Ts.Ye. Mirtskhulava. – M.: Kolos, 1981. – 318 s.
6. **Baklanova D.V.** Raschetnoye obosnovaniye veroyatnosti razrusheniya potentsialno opasnykh uchastkov krup-nogo kanala ot filtratsionnykh vozdeystviy / D.V. Baklanova // Prirodoobustroystvo. 2013. № 2. S. 43-48.

крупного канала от фильтрационных воздействий // Природообустройство. 2013. № 2. С. 43-48.

7. Градостроительный кодекс Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации. 2005. № 1, ст. 16; 2019. № 52, ст. 7790. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550836307> (дата обращения: 11.07.2022).

8. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 1997. № 30, ст. 3589; 2018. № 31, ст. 4860. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420225740> (дата обращения: 11.07.2022).

9. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2010. № 1, ст. 5; 2013. № 27, ст. 3477. URL: <https://docs.cntd.ru> Технический регламент (дата обращения: 11.07.2022).

10. Свод правил «СП 421.1325800.2018. Свод правил. Мелиоративные системы и сооружения. Правила эксплуатации»: утв. и введ. в действие приказом Минстроя России от 24.12.2018 г. № 854/пр. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403585> (дата обращения: 11.07.2022).

11. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: утв. приказом Минсельхоза России от 31 июля 2020 г. № 438. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780455> (дата обращения: 11.07.2022).

12. Свод правил «Мелиоративные системы и сооружения». Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85, дата введения 2017-06-17. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050590> (дата обращения: 13.07. 2022).

Критерии авторства

Жезмер В.Б., Адъяев С.Б., Шабанов Р.М. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Жезмер В.Б., Адъяев С.Б., Шабанов Р.М. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 10.01.2023

Одобрена после рецензирования 23.01.2023

Принята к публикации 23.01.2023

7. Gradostroitelnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii (Sobraniye zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii, 2005, № 1, st. 16; 2019, № 52, st. 7790) docs.cntd.ru/document/550836307 (data obrashcheniya 11.07.2022 g.).

8. Federalnyy zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 117-FZ «O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy» (Sobraniye zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii, 1997, № 30, st. 3589; 2018, № 31, st. 4860) docs.cntd.ru/document/420225740 (data obrashcheniya 11.07.2022 g.).

9. Federalnyy zakon ot 30 dekabrya 2009 g. № 384-FZ «Tekhnicheskyy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy» (Sobraniye zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii, 2010, № 1, st. 5; 2013, № 27, st. 3477), docs.cntd.ru/Tekhnicheskyyreglament (data obrashcheniya 11.07.2022 g.).

10. Svod pravil «SP 421.1325800.2018. Svod pravil. Meliorativnyye sistemy i sooruzheniya. Pravila ekspluatatsii», utverzhdenным i vvedennым v deystviye prikazom Ministroya Rossii ot 24.12.2018 № 854/pr (M.: Standartinform, 2019). docs.cntd.ru/document/554403585 (data obrashcheniya 11.07.2022 g.).

11. Pravila ekspluatatsii meliorativnykh system i otdelno raspolzheniy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy, utverzhdenные prikazom Minselkhoza Rossii ot 31 iyulya 2020 g. № 438. docs.cntd.ru/document/565780455 (data obrashcheniya 11.07.2022 g.).

12. Svod pravil «Meliorativnyye sistemy i sooruzheniya». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.03-85 Data vvedeniya 2017-06-17 docs.cntd.ru/document/456050590 (data obrashcheniya 13.07.2022 g.).

Criteria of authorship

Zhezmer V.B., Adjyaev S.B., Shabanov R.M. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Zhezmer V.B., Adjyaev S.B., Shabanov R.M. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 10.01.2023

Approved after reviewing 23.01.2023

Accepted for publications 23.01.2023

Гидравлика и инженерная гидрология

Научная статья

УДК 556.11

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-62-68

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ-ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОДЫ
НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА****Розенталь Олег Моисеевич** [✉], д-р техн. наук, профессор

orcid 0000-0001-6261-6060; AuthorID: 639330; SPIN-код: 4857-7570; omro3@yandex.ru

Федотов Владислав Харитонович ², канд. хим. наук, доцент

orcid = 0000-0001-8395-6849; SPIN-код = 5111-9580; AuthorID = 8882; Web of Science ResearcherID = B-6529-2017; fvh@inbox.ru

¹ Институт водных проблем Российской академии наук; 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3, Россия² Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова; 428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр-т, 15, Россия

Аннотация. Целью исследований явилось решение задачи повышения эффективности обнаружения крупных предприятий-загрязнителей природной воды из числа многих водопользователей промышленного региона. Для достижения цели были использованы искусственные нейронные сети (ИНС), позволяющие выявлять и оценивать веса связей между статистическими данными, что важно для изучения динамики формирования качества воды в условиях его пространственно-временной вариабельности. Работа выполнена на примере имеющихся 250 измерений концентрации каждого из четырех приоритетных металлов на гидрохимических створах р. Исеть в зоне г. Екатеринбурга. Нейросетевой анализ позволил обнаружить взаимозависимости отдельных показателей качества воды на соседних створах: в пунктах выше г. Екатеринбурга (+5,2 км, створ 1), в городе (створ 2) и ниже его (-4 км, створ 3), итого в $3 \times 4 \times 250 = 3000$ точках. Было установлено, в частности, что влияние содержания никеля в воде створа 2 на концентрацию других металлов створа 3, особенно на цинк, является достаточно высоким, так что коэффициент корреляции оказывается не ниже 0.6. Подобные результаты позволили установить логистические хозяйственные связи водопользователей и упростить идентификацию загрязнителей воды по «водному следу», оставленному предприятиями-смежниками. Тем самым показано, что ИНС обеспечивает выявление техногенного снижения качества воды на фоне ее природного загрязнения одними и теми же веществами. Достоверность выводов подтверждается возможностью удовлетворительно предсказывать качество воды створа, расположенного ниже по течению реки, по данным для створа, расположенного выше, как это установлено в работе путем прогноза качества воды с помощью ИНС.

Ключевые слова: качество воды, производственные сбросы, водный след, искусственные нейронные сети, нейросетевой анализ, гидрохимический створ

Формат цитирования: Розенталь О.М., Федотов В.Х. Идентификация предприятий-загрязнителей воды на основе нейросетевого анализа // Природообустройство. 2023. № 1. С. 62-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-62-68.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН Института водных проблем РАН (тема № FMWZ-2022-0003)

© Розенталь О.М., Федотов В.Х., 2023

Original article

**IDENTIFICATION OF WATER POLLUTING ENTERPRISES
BASED ON NEURAL NETWORK ANALYSIS****Rozental Oleg Moiseevich** [✉], doctor of technical sciences, professor

orcid 0000-0001-6261-6060; AuthorID: 639330; SPIN-код: 4857-7570; omro3@yandex.ru

Fedotov Vladislav Kharitonovich², candidate of chemical sciences, associate professor

orcid = 0000-0001-8395-6849; SPIN-код = 5111-9580; AuthorID = 8882; Web of Science ResearcherID = B-6529-2017; fvh@inbox.ru

¹ Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences; 119333, Moscow, st. Gubkina, 3, Russia

² Chuvash State University named after I.N. Ulyanova; 428015, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave, 15, Russia

Annotation. *The aim of the work was to solve the problem of increasing the efficiency of identifying large enterprises that pollute natural water from among many water users of the industrial region. For this purpose, artificial neural networks (INS) were used to detect and evaluate the weights of connections between statistical data, which is important for studying the dynamics of water quality formation in conditions of its spatial and temporal variability. The work was carried out on the example of the available 250 measurements of the concentration of each of the four priority metals at the hydro chemical gates of the Iset River in the area of Yekaterinburg. Neural network analysis made it possible to detect the interdependencies of individual water quality indicators at neighboring sites. At points above Yekaterinburg (+5.2 km, target 1), in the city (target 2) and below it (–4 km, target 3), in total at $3 \times 4 \times 250 = 3000$ points. It was found, in particular, that the effect of the nickel content in the water of the gate 2 on the concentration of other metals of the gate 3, especially zinc, is quite high, so that the correlation coefficient is not lower than 0.6. Such results made it possible to identify the logistical economic ties of water users and simplify the identification of water pollutants by the “water footprint” left by related enterprises. Thus, it is shown that the INS provides the identification of a man-made decrease in water quality against the background of its natural pollution with the same substances. The reliability of the conclusions is confirmed by the ability to satisfactorily predict the water quality of the section located downstream of the river, according to the data for the section located above, as established in the work by predicting water quality using the INS.*

Keywords: water quality, industrial discharges, water footprint, artificial neural networks, neural network analysis, hydro chemical gate

Format of citation: Rosenthal O.M., Fedotov V.Kh. Identification of water polluting enterprises based on neural network analysis // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 1. S. 62-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-62-68.

The work was carried out within the framework of the State Task of the FGBUN Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (topic No FMWZ-2022-0003)

Введение. Качество речной воды селитебных территорий позволяет судить о характере человеческой деятельности [1], например, для выявления ковида-19 [2]. Не менее важной является также идентификация источников загрязнения вод производственными отходами, что, однако, трудно выполнить в промышленных регионах ввиду обилия предприятий-загрязнителей [3]. Поэтому полезным является развитие методологии идентификации на основе независимой гидрометеорологической информации, позволяющей изучить динамику формирования качества воды в условиях его пространственно-временной variability.

Материалы и методы исследований. Трудности идентификации предприятий-загрязнителей в существующей системе водно-экологического регулирования. Идентификация предприятий-загрязнителей в существующей системе водно-экологического регулирования затруднена в условиях развитого промышленного региона. Проиллюстрируем это на результатах измерения качества воды, полученных в 1990-2010 гг. Уральским управлением Росгидромета на гидрохимических створах р. Исеть (правый приток Тобола).

Использовались результаты 250 измерений концентрации четырех приоритетных металлов в пунктах выше г. Екатеринбург (+5,2 км, створ 1), в городе (створ 2) и ниже его (–4 км, створ 3), итого $3 \times 4 \times 250 = 3000$ точек. Обнаружилось, что концентрация железа (здесь и далее – мг/дм³, для остальных металлов – в мкг/дм³) изменяется в диапазоне от 0,05 до 5; меди – от 2 до 500; цинка – от 1 до 1000; никеля – от 0 до 500. В результате наблюдается ситуация полного хаоса, при котором признаки variability: размах, амплитуда, среднеквадратическое отклонение концентрации – превышают их средние значения (рис. 1).

В подобной ситуации ограничиваются оценкой средних значений контролируемых показателей [4, 5], по которым нетрудно сравнить качество вод на разных створах. Так, из рисунка 2 следует, что на участке р. Исеть между створами 1 и 2 качество воды снижается по цветным металлам практически вдвое, а на участке 2→3 изменяется меньше по всем металлам, кроме цинка, среднее содержание которого повышается втрое.

Возникает первоочередная задача снижения сбросов соединений цинка как особо токсичного загрязнения [6]. Однако непросто выявить

основные предприятия-загрязнители в развитом промышленном регионе с его металлургическими, машиностроительными, металлообрабатывающими, химическими производствами, где соли цинка используются для нанесения покрытий, травления, обезжиривания и т.д. Как правило, эти производства оснащены очистными сооружениями, но резкий рост цинка на створе 3 означает, что часть из них не работает в плановом режиме, гарантирующем полноту водоподготовки. Неочевидным является и то, происходит точечное (сосредоточенное) загрязнение вод или преобладает неточечный (диффузный) сток с производственных площадок [7]. Здесь недостаточно используемых на практике методов оценки качества воды, поэтому рассмотрены возможности исследования динамики его формирования на основе искусственных нейронных сетей (ИНС).

Метод исследования: искусственные нейронные сети для бинарных и тернарной систем. Отличительной особенностью ИНС является их способность оценивать выходную статистическую информацию на основе входной в режиме самообучения, обеспечивающем наилучшее соответствие исходных и расчетных данных. Для этого задается типовая архитектура ИНС (линейные сети, временные ряды, многослойные перцептроны) и выбирается подходящий алгоритм оптимизации (обучения) [8, 9]. В результате осуществляется автоматизированный процесс описания данных, пригодный и для высоковариабельных рядов, как показано на рисунке 1.

ИНС использовались для поиска взаимной зависимости «водных следов» [10] сбросов загрязнений на соседних створах реки. Такая зависимость возникает при наличии тесных логистических хозяйственных связей смежных

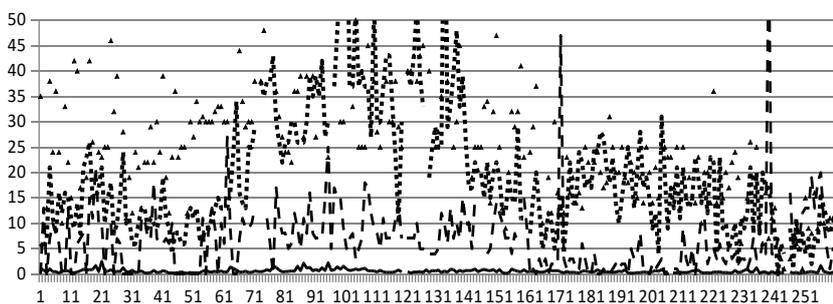


Рис. 1. Ежемесячные измерения концентрации соединений в 1990-2010 гг. на створе 1: железа общего (сплошная линия); никеля (штриховая); меди (пунктирная); цинка (треугольные маркеры) (результаты, превышающие 50 абс. ед., исключены)

Fig. 1. Monthly measurements of the concentration of compounds in 1990-2010 on gate 1: total iron (solid line), nickel (dashed), copper (dotted), zinc (triangular markers).

Note: Results exceeding 50 abs. units, excluded

производств, работающих синхронно. Принималось, что тем самым удастся облегчить идентификацию предприятий-загрязнителей по признаку сходной вариабельности контролируемых показателей сбросов [1, 2].

Анализировали веса нейросвязей и статистику нейрорегрессий (характеристики их точности и множественные коэффициенты корреляции Пирсона) с учетом влияния суммы загрязнений на каждое из них и влияния каждого загрязнителя на каждый.

Результаты и их обсуждение. Взаимосвязь суммы металлов створа 1 на каждый из них на створе 2 исследовалась с помощью полносвязной бинарной линейной нейросети архитектуры «4-4», где первая цифра обозначает число металлов на входном, а вторая – на выходном створе (табл. 1).

В таблице 1 показатель Error Mean близок к нулю, то есть нейросеть, обученная на результатах замеров на створах 1 и 2, практически без ошибок воспроизводит исходные данные на этих створах. При этом разброс расчетных значений даже несколько меньше разброса исходных значений. Видим также, что Abs E. Mean больше Error Mean, то есть знаки разностей измеренных и расчетных значений примерно равномерно чередуются и при вычислении Error Mean взаимно погашаются. Кроме того, S.D. Ratio меньше единицы, то есть нейрорегрессия дает меньшие отклонения, чем исходные данные. Коэффициент корреляции здесь варьирует от среднего (влияние металлов створа 1 на Cu₂) до умеренного (Fe₂) и слабого (Zn₂, Ni₂) уровней. Это позволяет сделать предположение о возможном пополнении природных загрязнений воды медью

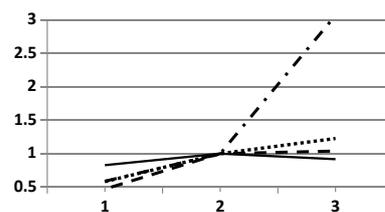


Рис. 2. Средняя концентрация загрязнителей по цветным металлам: створ 2 – железа общего (сплошная линия); никеля (штриховая); меди (пунктирная); створ 1 и 3 – цинка (штрих-пунктирная)

Fig. 2. Average concentration of pollutants for non-ferrous metals: gate 2 – total iron (solid line), nickel (dashed), copper (dotted) target 1 and 3 – zinc (dash-dotted)

в предместье Екатеринбурга, а также об отсутствии избыточных сбросов соединений цинка и никеля на участке реки между створами 1 и 2.

Другой результат получен для участка реки между створами 2 и 3 (табл. 2), где повышенная корреляция наблюдается для Zn3 и Ni3. При этом снизился разброс корреляций – эффект, вероятно, связанный с однотипными системами очистки сточных вод на взаимозависимых производствах (цехах).

Из таблицы 2 следует, что показатель Error Mean, как и в таблице 1, близок к нулю, то есть нейросеть хорошо воспроизводит исходные данные. Показатель S.D. Ratio почти не изменился по сравнению с приведенным в таблице 1, но коэффициенты корреляции повысились, особенно

по Zn3 и Ni3. Это указывает на пополнение природных загрязнений сбросами.

Повышенное снижение разброса корреляций обнаруживается для полносвязной тернарной системы створов (1+2)→3, исследованной с помощью нейросети архитектуры «8-4» (табл. 3).

Из данных таблицы 3 следует, что нейросеть, обученная на результатах замеров на створах 1, 2 и 3, хорошо воспроизводит исходные данные. Разброс расчетных значений также меньше разброса исходных значений, а показатель S.D. Ratio снизился, свидетельствуя о том, что тернарная нейрорегрессия несколько точнее бинарной. Коэффициенты корреляции по всем металлам также стали выше, чем в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты обучения нейросети «4-4» створов 1→2

Table 1. Learning results of neural network «4-4» gates 1→2

	Fe2	Cu2	Zn2	Ni2
Data Mean	0.67	34.01	47.83	13.94
Data S.D.	0.54	23.56	56.74	16.19
Error Mean	0	0	0	0.17
Error S.D.	0.48	18.59	55.85	15.53
Abs E. Mean	0.34	13.89	23.96	9.59
S.D. Ratio	0.89	0.78	0.98	0.95
Correlation	0.43	0.61	0.17	0.28

Примечание. Здесь и далее: цифра после обозначения металла соответствует номеру створа.

Data Mean – среднее значение концентрации вещества на выходном створе.

Data Standard Deviation (S.D.) – стандартное отклонение концентрации на выходном створе.

Error Mean – среднее значение разности между измеренным и расчетным (по нейросети) значениями концентрации на выходном створе.

Error S.D. – стандартное отклонение исходных данных от расчетных по нейросети.

Abs E. Mean – абсолютная средняя ошибка (среднее арифметическое модулей разностей между исходным и расчетным значениями концентрации на выходном створе).

S.D. Ratio = Error S.D./Data S.D. – относительная ошибка нейрорегрессии.

Correlation – коэффициент множественной корреляции.

Note to Table. 1. Hereinafter: the digit after the designation of the metal corresponds to the number of the gate.

Data Mean – the average value of the concentration of the substance on the output gate. Data Standard Deviation (S.D.) is a standard deviation of the concentration on the output gate.

Error Mean – the average value of the difference between the measured and calculated (according to the neural network) concentration values on the output gate.

Error S.D. – standard deviation of the initial data from the calculated ones on the neural network. Abs E. Mean – absolute mean error (the arithmetic mean of the modules of the differences between the initial and calculated values of the concentration on the output gate).

S.D. Ratio = Error S.D./Data S.D. – relative error of neuro regression.

Correlation – multiple correlation coefficient.

Таблица 2. Результаты обучения нейросети «4-4» створов 2→3

Table 2. Learning results of neural network «4-4» gates 2→3

	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3
Data Mean	0.63	42.86	150.11	14.46
Data S.D.	0.58	39.21	266.74	13.58
Error Mean	0.00	0.17	1.22	0.23
Error S.D.	0.54	34.31	212.19	10.89
Abs E. Mean	0.36	19.34	123.62	7.92
S.D. Ratio	0.92	0.87	0.79	0.80
Correlation	0.37	0.48	0.60	0.59

Таблица 3. Результат обучения нейросети «8-4»

Table 3. Learning results of neural network «4-4» gates 8→4

	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3
Data Mean	0.63	42.86	150.11	14.46
Data S.D.	0.58	39.21	266.74	13.58
Error Mean	0.00	0.17	1.22	0.23
Error S.D.	0.52	33.89	202.12	10.30
Abs E. Mean	0.35	19.34	123.50	7.39
S.D. Ratio	0.88	0.86	0.75	0.75
Correlation	0.45	0.50	0.65	0.65

Дополнительное по сравнению с данными таблиц 1 и 2 снижение разброса корреляций и их повышение в целом свидетельствуют о существовании тесных логистических хозяйственных связей предприятий рассматриваемого промышленного региона. Таков обмен сырьем, материалами и продуктами, вариабельность которого усиливается или ослабевает одновременно со сбросами.

Дифференцированное влияние загрязняющих воду металлов «каждого на каждый» рассчитывалось через веса нейросвязей (нейросетевые аналоги коэффициентов корреляции), дополняющих и уточняющих регрессионную статистику. В программе SNN веса подбираются с помощью нейросетевых оптимизационных алгоритмов обучения [8], обеспечивая наилучшее соответствие исходных и расчетных данных. Результаты обучения зависят от таких его параметров, как число эпох обучения (итераций), ошибка обучения, начальные веса связей и др. В данных исследованиях расчеты производились с использованием стандартных значений параметров обучения. Веса нейросвязей, рассчитанные для бинарных систем, приведены ниже.

Значения Threshold малы, как следует из таблиц 4 и 5, что указывает на незначительное влияние неучтенных факторов. Согласно данным таблицы 4 отчетливо проявляется влияние концентрации меди Cu1 на створе 1 на медь Cu2 на створе 2 (вес 0.65), что согласуется с данными таблицы 1 (где корреляция для Cu20.61). Это подтверждает вывод о природном

Таблица 4. Веса нейросвязей в системе Створ 1 → Створ 2

Table 4. Weights of neurocommunications in the system Gate 1 → Gate 2

	Fe2	Cu2	Zn2	Ni2
Threshold	-0.04	-0.06	-0.03	-0.04
Fe1	0.14	0.11	0.00	0.09
Cu1	-0.04	0.65	0.03	-0.11
Zn1	0.48	0.08	0.05	0.16
Ni1	0.15	0.00	-0.02	0.08

Таблица 5. Веса нейросвязей в системе Створ2 → Створ3

Table 5. Weights of neurocommunications in the system Gate 2 → Gate 3

	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3
Threshold	-0.06	-0.05	-0.04	-0.07
Fe2	0.10	0.06	0.13	0.21
Cu2	0.08	-0.00	-0.23	-0.07
Zn2	0.19	0.06	0.18	0.17
Ni2	0.35	0.46	0.80	0.64

Примечание. Threshold – веса пороговых (неявных) связей, соединяющих «пороговые» нейроны с соответствующим выходным нейроном, отражающие влияние неучтенных факторов на выходной створ.

Note. Threshold – the weights of threshold (implicit) connections connecting the “threshold” neurons with the corresponding output neuron, reflecting the influence of unaccounted factors on the output gate.

происхождении меди, возможно, поступающей в речной поток при выщелачивании подстилающих пород в верховьях Исети. Согласно данным таблицы 5 отчетливо проявляется влияние Ni2 на металлы створа 3, особенно на Zn3, что согласуется с данными таблицы 2 (где коэффициент корреляции для Zn30.60).

На практике к настоящему времени основные предприятия-загрязнители установлены, и избыточное накопление солей цинка на створе 3 р. Исеть прекращено. Однако для этого потребовались немалые усилия межрегиональной прокуратуры с привлечением общественного экологического контроля. Между тем нейросетевая идентификация хозяйственных связей производителей и потребителей никельсодержащего сырья, сбрасывающих стоки в зонах створов 1÷2 и 2÷3 данного промышленного региона, позволила бы намного меньшими усилиями обеспечить нормальное водно-экологическое регулирование.

Дополнительная оценка достоверности выводов, полученных с использованием ИНС, была выполнена путем прогноза качества воды в форме его оценки на заданном створе на основе анализа данных вышерасположенных створов.

Результаты имеющихся данных были подразделены на обучающие (до 70-80%), проверочные (10-15%), тестовые (10-15%) и неучитываемые. Входные данные для прогноза выбирались как реальные, а выходные данные были заранее неизвестны. Ошибку прогноза оценивали по формуле $E = \{[\sum(C_i - C_i^*)/C_i]^2\}^{1/2}/4$, где C_i – измеренная концентрация загрязнителя на створе, по которому осуществляется прогноз; C_i^* – прогнозные значения концентрации на том же створе. Результаты приведены в таблицах 6-8.

Из данных таблиц 6-8 следует, что ошибка рассматриваемого прогноза преимущественно изменяется в диапазоне 4-40% и в среднем не превышает 20%, что существенно ниже погрешности измерения контролируемых показателей, приписанная норма которой для основных рассматриваемых металлов достигает 50% и более [11].

Таблица 6. Прогноз по системе Створ1→ Створ 2

Table 6. Forecast for the system Gate1→ Gate 2

NN _е образца Sample	Исходные данные. Створ 1 Initial data. Gate 1				Исходные данные. Створ 2 Initial data. Gate 2				Прогнозные данные, Створ 2 Forecast data. Gate 2				Ошибка прогноза E Forecast error
	Fe1	Cu1	Zn1	Ni1	Fe2	Cu2	Zn2	Ni2	Fe2	Cu2	Zn2	Ni2	
1	1.12	6	35	0	1.04	18	51	44	0.85	21.54	32.38	26.04	0.07
2	0.75	5	64	13	1.36	28	45	17	1.44	24.88	47.62	35.44	0.05
62	1.38	16	52	9	3.36	85	93	38	1.19	32.60	45.74	32.90	0.48
63	1.1	24	58	0	1.15	52	50	25	1.12	41.18	50.56	26.03	0.04
76	1.31	30	36	17	0.72	110	48	35	0.91	42.95	53.91	24.25	0.27
77	0.77	26	31	11	1.15	70	78	22	0.74	39.28	50.76	16.77	0.16
112	0.32	33	30	7	0.85	54	36	14	0.60	46.04	56.06	7.85	0.07
113	0.5	23	38	11	0.85	54	80	8	0.85	37.83	52.48	17.26	0.10
214	0.41	22	36	5	0.338	5	14	6	0.76	36.85	49.34	14.27	0.17
215	0.325	4	14	3	0.152	7	14	3	0.47	17.49	31.27	12.88	0.09
Средняя ошибка / Average error													0.15

Таблица 7. Прогноз по системе Створ2→ Створ 3

Table 7. Forecast for the system Gate2→ Gate 3

N образца Sample	Исходные данные. Створ 2 Initial data. Gate 2				Исходные данные. Створ 3 Initial data. Gate 3				Прогноз Forecast				Ошибка прогноза E Forecast error
	Fe2	Cu2	Zn2	Ni2	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3	
6	0.74	14	75	13	2.62	140	1200	40	0.68	41.15	197.11	14.85	0.52
8	0.8	13	35	13	0.47	12	110	22	0.68	40.94	181.57	14.54	0.07
11	1.31	29	75	51	0.88	180	870	0	1.09	94.32	424.69	34.16	0.29
22	0.49	37	54	21	0.63	8	110	20	0.70	53.05	178.52	16.57	0.08
133	0.9	58	80	33	0.56	40	50	28	0.97	70.26	224.81	23.93	0.10
134	0.66	44	85	17	0.53	39	45	14	0.78	47.67	151.00	15.99	0.05
135	1.22	44	75	5	0.43	22	53	24	0.91	30.55	73.88	13.19	0.08
207	0.326	28	28	13	0.285	34	33	1	0.57	41.62	132.47	11.98	0.07
227	0.143	2	17	5	0.125	7	11	3	0.38	29.78	136.71	7.76	0.07
237	1	1	11	4	0.213	7	6	6	0.39	38.07	172.15	10.15	0.09
Средняя ошибка / Average error													0.14

Таблица 8. Прогноз по системе Створ 1 +2→ Створ 3

Table 8. Forecast for the system Gate 1 +2→ Gate 3

N образца Sample	Исходные данные. Створ 1 +2 Initial data. Gate 1 +2								Точные значения. Створ 3 Exact values. Gate 3				Прогноз Forecast				Ошибка прогноза E Forecastt error
	Fe1	Cu	Zn1	Ni1	Fe2	Cu2	Zn2	Ni2	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3	Fe3	Cu3	Zn3	Ni3	
6	0.48	8	36	8	0.74	14	75	13	2.62	140	1200	40	0.73	46.17	298.12	21.44	0.42
12	0.24	9	42	0	1.6	30	39	94	1.07	40	1800	12	1.03	180.29	776.98	47.31	0.42
13	0.4	14	40	6	0.37	15	29	15	1.23	48	370	47	0.55	44.34	176.63	14.63	0.20
14	0.61	8	17	7	0.86	24	40	0	1.37	58	540	61	19.19	162.74	13.28	19.19	0.31
15	0.94	21	67	8	1.86	37	34	18	0.43	24	210	28	48.80	309.22	25.31	48.80	0.07
207	15	15	5	0.326	28	28	13	15	0.285	34	33	1	0.44	37.9	112.44	12.95	0.06
208	23	14	0	0.163	32	34	3	23	0.16	37	51	4	0.46	30.41	26.10	6.34	0.04
214	22	36	5	0.338	5	14	6	22	0.08	43	28	11	0.42	31.53	89.17	6.67	0.06
215	4	14	3	0.152	7	14	3	4	0.406	39	33	3	0.23	25.23	134.20	8.06	0.05
237	4	1	1	0.138	1	1	11	4	0.213	7	6	6	0.14	38.70	170.71	7.64	0.07
Средняя ошибка / Average value																	0.17

Выводы

Способность ИНС обнаруживать и оценивать веса связей между статистическими данными является эффективной для изучения динамики формирования качества воды в условиях его пространственно-временной вариабельности.

На примере р. Исеть в зоне г. Екатеринбургa нейросетевой анализ позволил обнаружить взаимозависимости отдельных показателей качества воды на соседних створах и тем самым выявить логистические хозяйственные связи водопользователей. Это облегчает идентификацию приоритетных загрязнителей воды по «водному

следу» загрязнений, оставленному предприятиями-смежниками. Показано, что ИНС упрощает выявление техногенного снижения качества воды на фоне ее природного загрязнения. Также показано, что анализ массивов экспериментальных данных с использованием нейросетей может резко ограничить круг поиска предприятий-загрязнителей.

Достоверность полученных выводов подтверждается возможностью удовлетворительно предсказывать качество воды на некотором гидрохимическом створе по данным для створов, расположенных выше.

Список использованных источников

1. **Строганов С.Н.** Связь питания жителей и состава сточной воды: Питание Москвы в 1903-1922 гг.: Труды Совещания по очистке сточных вод, состоящего при Канализационном отделе М.К.Х. // Московское коммунальное хозяйство. 1923. Вып. 2.
2. **Virender K. Sharma, Eric Lichtfouse, Etienne Decroly.** COVID-19 epidemiologic surveillance using wastewater // Environmental Chemistry Letters. 2021. V. 19 (45). № 1. Pp. 1911-1915.
3. **Данилов-Данильян В.И., Веницианов Е.В., Аджиенко Г.В., Козлова М.А.** Оценка современных подходов к управлению качеством поверхностных вод и их охране // Вестник РАН. 2019. Т. 89, № 12. С. 1248-1259.
4. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году: государственный доклад.
5. **Розенталь О.М., Александровская Л.Н., Кириллин А.В.** Байесовский подход к повышению достоверности контроля качества вод // Аналитика и контроль. 2018. Т. 22, № 3. С. 334-340.
6. **Яковлев С.В., Воронов Ю.В.** Водоотведение и очистка сточных вод: учебник. М.: АСВ, 2002. 704 с.
7. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: коллективная монография / Под рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.
8. Martin Anthony, Peter Bartlett. Neural Network Learning: Theoretical Foundations. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 2002. 504 p.
9. **Боровиков В.П.** Нейронные сети STATISTICA Neural Networks: Методология и технология современного анализа данных: учебное пособие М.: StatSoft, 2015. 354 с.
10. ГОСТ Р ИСО 14046-2017. Экологический менеджмент. Водный след. Принципы, требования и руководящие указания.
11. ГОСТ 27384-2002. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств.

Критерии авторства

Розенталь О.М., Федотов В.Ф. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022

Одобрена после рецензирования 14.12.2022

Принята к публикации 19.12.2022

References

1. **Stroganov S.N.** Svyaz pitaniya zhitelej i sostava stochnoj vody: Pitanie Moskvy` v 1903-1922 gg. Tr. Soveshchaniya po ochistke stochnyh vod, sostoyashchego pri Kanalizatsionnom otdele M.K.H. // Moskovskoe kommunalnoe hozyajstvo; 1923 g. Vyp. 2.
2. Virender K Sharma, Eric Lichtfouse, Etienne Decroly. COVID-19 epidemiologic surveillance using wastewater. Environmental Chemistry Letters. 2021. V. 19(45). N1. P. 1911-1915.
3. **Danilov-Daniljyan V.I.** Otsenka sovremennyh podhodov k upravleniyu kachestvom poverhnostnyh vod i ih ohrane / Venitsianov E.V., Adzhienko G.V., Kozlova M.A. // Vestnik RAN. 2019. T. 89. № 12. S. 1248-1259.
4. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ispolzovanii vodnyh resursov Rossijskoj Federatsii v 2020 godu» istina. msu.rupublications/book/523146645/
5. **Rozental O.M., Aleksandrovskaya L.N., Kirilin A.V.** Bajesovskij podhod k povysheniyu dostovernosti kontrolya kachestva vod // Analitika i kontrol. 2018. T 22, № 3. S. 334-340.
6. **Yakovlev S.V., Voronov Yu.V.** Vodootvedenie i ochistka stochnyh vod. M.: ASV, 2002. 704 s.
7. Diffuznoe zagryaznenie vodnyh objektov: problemy i resheniya. Kollektivnaya monografiya pod ruk. V.I. Danilova-Daniljyana. M.: RAN, 2020. 512 s.
8. Martin Anthony, Peter Bartlett. Neural Network Learning: Theoretical Foundations. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 2002. 504 p.
9. **Borovikov V.P.** Nejronnye seti STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tehnologiya sovremennogo analiza dannyh. M.: StatSoft, 2015. 354 s.
10. GOST R ISO 14046-2017 Ekologicheskij menedzhment. Vodnyj sled. Printsipy, trebovaniya i rukovodyashchie ukazaniya.
11. GOST 27384-2002. Voda. Normy pogreshnosti izmenenij pokazatelej sostava i sojstv.

Criteria of authorship

Rosenthal O.M., Fedotov V. H 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.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 22.11.2022

Approved after reviewing 14.12.2022

Accepted for publication 19.12.2022

Оригинальная статья

УДК 532.542/.551

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-69-75



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ТРЕНИЕ В КРУГЛОМ ТРУБОПРОВОДЕ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ

Карпов Денис Федорович , соискатель, старший преподаватель

Scopus ID: 57210325021; WoS Researcher ID: AAF-2092-2021; ORCID ID: 0000-0002-3522-9302; Scholar ID: gQUipfkAAAAJ; e-library ID: 564418 e-library SPIN: 9241-4996; Research Gate: /www.researchgate.net/profile/Denis-Karpov-6; karpovdf@vogu35.ru

Павлов Михаил Васильевич, канд. техн. наук, доцент

Author ID SCOPUS57204361039; WoS ResearcherID AAN-5773-2021; ORCID0000-0002-8687-3296; ID РИНЦ 564419; SPIN код6544-7267; URL: pavlovmv@vogu35.ru

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

Аннотация. Представлена методика определения потерь давления на трение в медном трубопроводе постоянного круглого сечения. Дано описание лабораторной установки и перечня измерительных приборов, необходимых для ее реализации по предложенному алгоритму. Основные этапы экспериментальной работы включают в себя: подачу воздуха в трубопровод центробежным вентилятором; определение геометрических показателей трубопровода; измерение температуры воздуха в помещении термогигрометром, скорости движения воздуха на выходе из трубопровода термоанемометром, перепадов (потерь) давления воздуха на участках прямолинейного трубопровода дифференциальным манометром. По экспериментальным данным выполнено определение потерь напора на трение на исследуемом участке трубопровода с последующей оценкой погрешности результатов косвенных измерений. Проведено сравнение полученных результатов с теоретическими данными (номограммы И.И. Никурадзе), подтверждающее их достоверность, выполнена оценка сходимости полученных результатов. Знание подобного рода инженерно-технических и научных решений позволит качественно выполнять контроль потерь и падений давления в трубопроводах, подбирать необходимое гидравлическое оборудование (нагнетатели), избегать аварийных ситуаций при эксплуатации инженерных систем жизнеобеспечения.

Ключевые слова: гидравлические измерения, гидравлический режим, трубопровод, потери давления на трение, коэффициент гидравлического трения, коэффициент динамической вязкости, гидродинамическое давление, скорость движения жидкости, пропускная способность, термогигрометр, термоанемометр, дифференциальный манометр

Формат цитирования: Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Методика определения потерь давления на трение в круглом трубопроводе постоянного сечения // Природообустройство. 2023. № 1. С. 69-75. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-69-75.

© Карпов Д.Ф., Павлов М.В., 2023

Original article

METHOD FOR DETERMINING FRICTION PRESSURE LOSSES IN A CIRCULAR PIPELINE OF CONSTANT CROSS-SECTION

Karpov Denis Fedorovich , applicant, senior lecturer

Scopus ID: 57210325021; WoS Researcher ID: AAF-2092-2021; ORCID ID: 0000-0002-3522-9302; Scholar ID: gQUipfkAAAAJ; e-library ID: 564418; SPIN: 9241-4996; karpovdf@vogu35.ru

Pavlov Mikhail Vasilyevich, candidate of technical sciences, associate professor

Author ID SCOPUS57204361039; WOS Researcher ID AAN-5773-2021; ORCID0000-0002-8687-3296; RSCI ID564419; SPIN code 6544-7267; pavlovmv@vogu35.ru

Vologda State University; 160000, Vologda, Lenin str., 15, Russia

Annotation. The procedure for determining friction pressure losses in the copper pipeline of constant round section is presented. A description of the laboratory installation and the list of measuring instruments required for its implementation according to the proposed algorithm are given. The main stages of experimental work include: air supply to the pipeline by centrifugal fan; determination of pipeline

geometrical parameters; measurement of the air temperature in the room with a thermohygrometer, the speed of air movement at the outlet of the pipeline with a thermoanemometer, air pressure drops (losses) in the sections of the rectilinear pipeline with a differential pressure gauge. Based on experimental data, friction head losses were determined on the investigated section of the pipeline with subsequent assessment of the error of indirect measurements. The results were compared with theoretical data (nomograms by I.I. Nikuradze), confirming their reliability and the convergence of the results was assessed. Knowledge of such engineering, technical and scientific solutions will make it possible to perform high-quality control of losses and pressure drops in pipelines, select the necessary hydraulic equipment (superchargers), and avoid emergencies during operation of engineering life support systems.

Keywords: hydraulic measurements, hydraulic mode, pipeline, friction pressure loss, hydraulic friction coefficient, dynamic viscosity coefficient, hydrodynamic pressure, fluid velocity, capacity, thermohygrometer, thermoanemometer, differential pressure gauge

Format of citation: Karpov D.F., Pavlov M.V. Method of determining the friction pressure loss in a circular pipeline of constant cross-section // Prirodobustroystvo. 2023. № 1. S. 69-75. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-69-75.

Введение. На данный момент в природе различают четыре агрегатных состояния вещества: твердое, жидкое, газообразное и плазменное [1, 2]. Все жидкости подразделяют на две группы: капельные и газообразные. К первым относятся вода, нефть, бензин, керосин, спирт, масло и другие, а ко вторым – газы. В гидравлике объектом изучения являются капельные жидкости. Основное отличие жидкостей – их текучесть, то есть малое сцепление частиц, отсутствие сил трения между частицами в состоянии покоя, поэтому жидкость принимает форму сосуда, резервуара, водоема и т.д. При изучении общих закономерностей гидравлики часто используют понятие идеальной жидкости – несжимаемой среды, не обладающей внутренним трением между отдельными частицами. Идеальная жидкость в отличие от реальной считается совершенно несжимаемой и нерасширяющейся средой, обладающей абсолютной подвижностью частиц, в которой полностью отсутствуют силы внутреннего трения (вязкости).

При гидравлическом расчете инженерных сетей и коммуникаций (водопроводных, тепловых, газовых и т.д.), как правило, решают две основные задачи: определение диаметров участков трубопроводов и потерь давления в них для последующей разработки гидравлического режима и выявления располагаемых давлений у потребителей [1]. Известны различные способы выполнения гидравлического расчета трубопроводов: метод удельных потерь давления на трение; метод гидравлических характеристик; метод приведенных длин и др. [2]. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, а также область применения. Ввиду того, что гидравлический расчет всей трубопроводной системы является важной и сложной частью инженерных изысканий, разработаны специальные таблицы, номограммы и специализированное программное обеспечение [3-5].

Известно, что потери давления (гидравлические сопротивления) являются одним из ключевых понятий в области прикладной механики жидкости [6-8]. При движении жидкости они складываются из потерь давления на трение и потерь давления на местные (гидравлические) сопротивления (при их наличии) [9-13].

Научная новизна. Исследовано в лабораторных условиях влияние пропускной способности трубопровода на его гидравлическое сопротивление. Выполнена оценка достоверности общепринятых научно-теоретических методов определения гидравлических сопротивлений трубопроводов, основанная на сравнительном анализе теоретических данных с результатами лабораторных исследований.

Материалы и методы исследований. Многочисленные эксперименты показывают и подтверждают, что потери давления на трение Δp , Па при движении жидкости в трубопроводе (рис. 1) могут зависеть от следующих параметров [3-13]: диаметра трубопровода d , м, его длины l , м; физических свойств жидкости (плотности ρ и вязкости кинематической ν или динамической μ); средней скорости движения жидкости в трубопроводе w , м/с; высоты выступов шероховатости на стенках трубопровода k_s , м.

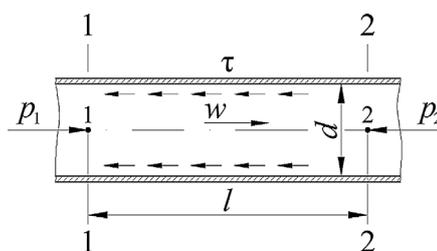


Рис. 1. Схема к определению потерь напора на трение в круглом трубопроводе постоянного сечения

Fig. 1. Diagram for determination of friction head losses in the circular pipeline of constant section

Определим потери давления на трение Δp , Па в прямолинейном трубопроводе круглого сечения в лабораторных условиях (рис. 2). Центробежный вентилятор, имеющий пусковое устройство, подает воздух из помещения во входное отверстие трубопровода. Для регулирования расхода (подачи) воздуха в трубопроводе на нагнетательной линии вентилятора установлен шибер. С целью измерения потерь давления по длине трубопровода в конце каждого его участка установлен штуцер. Воздух, преодолев гидравлическое сопротивление трубопровода, попадает в помещение через его выходное отверстие.

Алгоритм определения потерь давления на трение в прямолинейном трубопроводе круглого сечения (рис. 2) следующий:

1. Измеряют температуру воздуха в помещении t , °С, с помощью термогигрометра «Testo 625» (табл.).

2. Фиксируют длину каждого участка трубопровода (расстояние между двумя соседними штуцерами) l_i , м, $i = 1, 2, \dots, N$ (где N – количество участков трубопровода) механической рулеткой (табл.).

3. Определяют внутренний диаметр трубопровода d , м, электронным штангенциркулем «ГТТ 19856» (табл.).

4. Включают центробежный вентилятор. Пуск вентилятора выполняют при закрытом шибере, дожидаясь выхода вентилятора на максимальный режим своей работы.

5. Регулируют пропускную способность трубопровода соответствующим положением шибера по трем вариантам: $n = 0,33$ (открыт частично на 1 / 3); $n = 0,67$ (то же на 2 / 3); $n = 1$ (открыт полностью).



Рис. 2. Фотография и принципиальная схема лабораторной установки:

1 – вентилятор; 2 – трубопровод;

3 – регулирующая заслонка (шибер); 4 – штуцер

Fig. 2. Photo image of the fragment and schematic diagram of the experimental installation:

1 – fan; 2 – pipeline; 3 – control damper (gate); 4 – connector

6. Измеряют максимальную скорость движения воздуха на выходе из трубопровода w_0 , м / с термоанемометром «Testo 425» (табл.), установив приемный датчик прибора по центру сечения трубопровода.

7. Для заданного гидравлического режима трубопровода измеряют перепады давлений на его участках $\Delta p_{i, i+1}$, Па, $i = 1, 2, \dots, N$ дифференциальным манометром «Testo512» (табл.). Измерения выполняют путем подключения соединительных шлангов (силиконовых, резиновых, ПВХ и т.п. диаметром 4 / 6 мм) к приемным отверстиям измерительного прибора и соответствующим соседним штуцерам трубопровода.

Обработка полученных экспериментальных данных выполняется в такой последовательности:

1. По результатам измерений температуры воздуха в помещении t , °С, определяют его плотность по уравнению состояния идеального газа:

$$\rho = \frac{353}{t + 273,15}, \text{ кг / м}^3. \quad (1)$$

2. Коэффициент динамической вязкости воздуха при температуре t , °С, вычисляют по формуле Милликена:

$$\mu = 1,712 \cdot 10^{-5} + 4,93 \cdot 10^{-8} t, \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (2)$$

3. Предварительно приняв турбулентный режим течения воздуха в трубопроводе, рассчитывают среднюю скорость его движения по соотношению:

$$w = 0,813 w_0, \text{ м / с}. \quad (3)$$

4. По средней скорости движения воздуха в трубопроводе w , м / с, и его внутреннему диаметру d , м, рассчитывают значение критерия Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho w d}{\mu} = \frac{w d}{\nu}, \quad (4)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па · с; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м² / с.

5. При известном критическом значении безразмерного числа $Re_{кр}$, уточняют режим течения воздуха в трубопроводе.

6. Если режим течения воздуха в трубопроводе оказался ламинарным, то среднюю скорость движения воздуха определяют по соотношению:

$$w = 0,5 w_0, \text{ м / с}. \quad (5)$$

7. Коэффициент эквивалентной шероховатости старого медного

Таблица. Список измерительных приборов

Table. List of measuring instruments

№ п/п items	Наименование оборудования Name of equipment	Функциональное назначение Functionality	Основные технические характеристики Basic performance specification
1	 Дифференциальный манометр «Testo 512» Differential pressure gauge «Testo 512»	Измерение перепадов давления и скорости движения жидкости в трубопроводе Measurement of pressure drops and fluid velocity in the pipeline	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диапазон измерений давления – от 0 до 2 гПа. 2. Диапазон измерений скорости – от 2 до 17,5 м/с. 3. Разрешение – 0,001 гПа / 0,1 м/с. 4. Погрешность – $\pm 0,5\%$ от диап. ± 1 цифра. 5. Перегрузка – ± 10 гПа. <ol style="list-style-type: none"> 1. Pressure measurement range – from 0 to 2 hPa. 2. Measurement range of velocities – from 2 to 17.5 m/s. 3. Resolution – 0.001 hPa/0.1 m/s. 4. Error – $\pm 0,5\%$ of diap. ± 1 digit. 5. Overload – ± 10 hPa.
2	 Термоанемометр «Testo 425» Thermoanemometer «Testo 425»	Измерение температуры, скорости и объемного расхода потока жидкости Measurement of temperature, velocity and volumetric flow rate of liquid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диапазон измерений температуры – от -20 до 70°C. 2. Диапазон измерений скорости – от 0 до 20 м/с. 3. Разрешение – $0,1^{\circ}\text{C}$ / 0,01 м/с. 4. Погрешность – $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (от 0 до 60°C), $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ (в ост. диапазоне) / $\pm(0,03$ м/с + 5% от изм. знач.). <ol style="list-style-type: none"> 1. The measuring range of the tempo-town is from -20 to 70°C. 2. Measurement range of velocities – from 0 to 20 m/s. 3. Resolution – 0.1°C/0.01 m/s. 4. The error is $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (from 0 to 60°C), $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ (in the rest. range) / $\pm (0.03$ m/s + 5% of the change).
3	 Термогигрометр «Testo 625» Thermohygrometer «Testo 625»	Измерение температуры и относительной влажности окружающего воздуха Measurement of ambient temperature and relative humidity	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диапазон измерений температуры – от -10 до 60°C. 2. Диапазон измерений относительной влажности – от 0 до 100%. 3. Разрешение – $0,1^{\circ}\text{C}$ / 0,1% отн. влажная. 4. Погрешность – $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ / $\pm 2,5\%$ отн. влажн. (от 5 до 95% отн. влажн.). <ol style="list-style-type: none"> 1. The measuring range of the temperature is from -10 to 60°C. 2. Range of measurements of relative humidity – from 0 to 100%. 3. Resolution – 0.1°C/0.1% rel. wet. 4. Error – $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ / $\pm 2,5\%$ rel. wet. (5 to 95% rel. wet).
4	 Электронный штангенциркуль «FIT 19856» Electronic calipers «FIT 19856»	Измерение геометрических параметров различных изделий и заготовок Measurement of geometric parameters of different products and blanks	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диапазон измерений – от 0 до 150 мм. 2. Разрешение – 0,01 мм. 3. Погрешность – 0,01 мм/м. <ol style="list-style-type: none"> 1. Measurement range – 0 to 150 mm. 2. Resolution – 0.01 mm. 3. Error – 0.01 mm/m.
5	 Механическая рулетка Mechanical roulette	Измерение геометрических параметров Measurement of geometric parameters	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дальность измерений – не менее 3 м. <ol style="list-style-type: none"> 1. Measurement range – at least 3 m.

трубопровода равен $k_s = 0,15$ мм (для сравнения: у нового цельнотянутого медного трубопровода $k_s = 0,01$ мм).

8. В зависимости от режима течения воздуха в трубопроводе вычисляют коэффициент гидравлического трения по зависимостям:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}; \quad (6)$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (7)$$

9. По известной скорости движения воздуха в трубопроводе w , м/с, вычисляют его гидродинамическое давление по уравнению:

$$p_{\text{вых}} = \frac{\rho w^2}{2}, \text{ Па}. \quad (8)$$

10. По суммарной протяженности участков трубопровода $l = \sum_{i=1}^N l_i$, м, рассчитывают потери давления на трение:

$$\Delta p_{12} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2}, \text{ Па}, \quad (9)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения.

11. С учетом выражения (10) определяют давление воздуха на входе в трубопровод:

$$\Delta p_{12} = p_1 - p_2, \text{ Па}; \quad (10)$$

$$p_{\text{вх}} = p_{\text{вых}} + \Delta p_{12}, \text{ Па}. \quad (11)$$

12. Выполняют гидравлический расчет трубопровода в зависимости от его пропускной способности, например, при $n = 0,33$, $n = 0,67$, $n = 1$.

13. По итогам гидравлического расчета строят графики потерь давления по длине трубопровода для трех случаев ($n = 0,33$; $n = 0,67$; $n = 1$) и сравнивают полученные аналитические результаты с экспериментальными данными.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим пример конкретной реализации предложенной методики.

Температура воздуха в помещении по данным термогигрометра «Testo 625» составила $t = 20,4^\circ\text{C}$. Тогда плотность воздуха с учетом формулы (1) –

$$\rho = \frac{353}{20,4 + 273,15} = 1,203 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент динамической вязкости воздуха по формуле (2) –

$$\mu = 1,712 \cdot 10^{-5} + 4,93 \cdot 10^{-8} \cdot 20,4 = 1,813 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Длина каждого участка трубопровода $l_i = 0,5$ м, $i = 1, 2, \dots, 8$; общая протяженность

трубопровода $l = 8 \cdot 0,5 = 4,0$ м; внутренний диаметр трубопровода $d = 75$ мм.

Максимальная скорость воздуха на выходе из трубопровода при $n = 1$, по данным термоанемометра «Testo 425», $w_0 = 3,86$ м/с. Тогда при условии, что режим течения воздуха в трубопроводе – турбулентный, средняя его скорость по сечению трубопровода согласно соотношению (3) будет равна:

$$w = 0,813 \cdot 3,86 = 3,14 \text{ м/с}.$$

По формуле (4) определим критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{1,203 \cdot 3,14 \cdot 0,075}{1,813 \cdot 10^{-5}} \approx 15610 > 2320.$$

Поскольку $\text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}}$, то режим течения воздуха в трубопроводе, действительно, турбулентный. Тогда коэффициент гидравлического трения медного трубопровода при $k_s = 0,15$ мм по формуле (7) составит (область смешанного течения, переходный режим, вторая область):

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{75 \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{15610} \right)^{0,25} \approx 0,031.$$

Полученное значение коэффициента гидравлического трения соответствует данным номограммы И.И. Никурадзе [1, 2].

Гидродинамическое давление воздуха по выражению (8) составит:

$$p_{\text{вых}} = \frac{1,203 \cdot 3,14^2}{2} = 5,92 \text{ Па}.$$

Таким образом, потери давления на трение в трубопроводе по уравнению (9) составят:

$$\Delta p = 0,031 \cdot \frac{4,0}{75 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,203 \cdot 3,14^2}{2} = 9,81 \text{ Па}.$$

Давление воздуха на входе в трубопровод согласно равенству (11) –

$$p_{\text{вх}} = 5,92 + 9,81 = 15,7 \text{ Па}.$$

Как известно, при косвенных технических измерениях в случае нескольких переменных величин x_i оценку абсолютной погрешности величины z производят по следующей формуле:

$$z = \sqrt{\sum_i^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}, \quad (12)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – частные производные функции f ; Δx_i – известные пределы допускаемых погрешностей; n – общее количество величин x_i .

Тогда относительная погрешность измерений будет равна

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta z}{z} \cdot 100. \quad (13)$$

В рассматриваемом случае функцией f является уравнение Дарси (9), а искомой величиной z – потери давления на трение на прямолинейном участке трубопровода Δp , Па. При этом такие величины, как внутренний диаметр трубопровода d , мм, и его длина l , м, температура воздуха t , °С, также максимальная скорость воздуха по сечению трубопровода w_0 , м/с, находятся с определенной погрешностью с помощью прямых измерений (табл.). Некоторые же величины – такие, как динамическая вязкость μ , Па·с, или критерий Рейнольдса Re , имеют собственные погрешности, полученные в результате косвенных измерений. С учетом уравнений (12) и (13), а также абсолютных погрешностей измерительных приборов (табл.) абсолютная и относительная погрешности косвенных измерений линейных потерь давления на трение Δp (при пропускной

способности $n = 1$) соответственно составили $\approx 1,04$ Па и $\approx 10,6\%$.

На рисунке 3 изображены графики потерь давления на трение по длине трубопровода при его пропускной способности: $n = 0,33$; $n = 0,67$; $n = 1$.

Среднеквадратичные отклонения экспериментальных данных от расчетных значений давления воздуха p , Па, при объеме выборки $N = 9$ составили (рис. 3): для пропускной способности $n = 1 - \sigma = 0,40$ Па; для $n = 0,67 - \sigma = 0,36$ Па; для $n = 1 - \sigma = 0,61$ Па.

Экспериментально-расчетные результаты показали, что в диапазоне средних скоростей потока воздуха на участке прямолинейного трубопровода от 3 до 10 м/с (число Рейнольдса находится соответственно в диапазоне от $1,561 \cdot 10^4$ до $4,732 \cdot 10^4$, область смешенного трения) значение коэффициента гидравлического трения остается практически без изменений в указанном интервале значений Re и равным $\lambda \approx 0,031$.

Выводы

Представлена методика определения потерь давления на трение в прямолинейном трубопроводе круглого сечения.

Выполнено экспериментальное определение потерь давления на трение на исследуемом участке трубопровода и проведено сравнение полученных результатов с аналитическими данными графиков И.И. Никурадзе.

Авторы исследований планируют продолжить научные изыскания в области гидравлики и гидромеханики, так как для выявления причин потерь и падений давления в трубопроводе необходимо учитывать ряд таких факторов, как внутренний диаметр трубопровода, скорость движения жидкости в системе, индивидуальные характеристики материала, из которого изготовлен трубопровод и его протяженность.

References

1. Shterenliht D.V. Gidravlika: uchebnik. 5-e izd., ster. SPb.: Izd-vo «Lan», 2015. 656 s.
2. Tyanin A.N. Gidravlika sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: uchebnoe posobie. Vologda: Vologodskij gosudarstvennyj universitet, 2021. 87 s.
3. Paliivets M.S. Gidravlicheskiy raschet truboprovoda s uchetom dlin vliyaniya mestnyh soprotivlenij i ih interfeentsii // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 1. S. 102-108.
4. Prodous O.A., Terekhov L.D., Smolin E.S. Analiz zarubezhnyh i otechestvennyh raschetnyh zavisimostej dlya opredeleniya poter napora v truboprovodah iz polimernyh materialov // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2019. № 1. S. 56-60.
5. Akimenko A.V., Anikeev E.A., Voronin V.V. Metodika i algoritm rascheta linejnyh poter napora zhidkosti v truboprovodah // Modelirovanie sistem i protsessov. 2022. T. 15. № 2. S. 7-12.

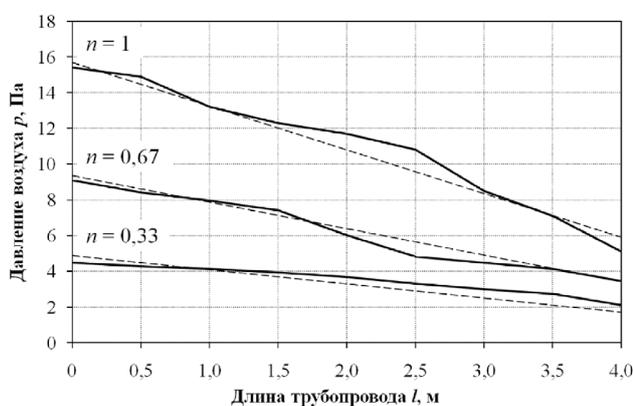


Рис. 3. Результаты сравнения графиков потерь давления на трение по длине трубопровода:

сплошная линия – экспериментальные данные;
пунктирная линия – расчетные данные

Fig. 3. Results of comparison of graphs of friction pressure losses along the pipeline length:
solid line – experimental data;
dashed line – calculated data

Список использованных источников

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник. 5-е изд., стер. СПб.: Изд-во «Лань», 2015. 656 с.
2. Тянин А.Н. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения: учебное пособие. Вологда: ВГУ, 2021. 87 с.
3. Палиивец М.С. Гидравлический расчет трубопровода с учетом длин влияния местных сопротивлений и их интерференции // Природообустройство. 2022. № 1. С. 102-108.
4. Продоус О.А., Терехов Л.Д., Смолин Е.С. Анализ зарубежных и отечественных расчетных зависимостей для определения потерь напора в трубопроводах из полимерных материалов // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 1. С. 56-60.
5. Акименко А.В., Анিকেев Е.А., Воронин В.В. Методика и алгоритм расчета линейных потерь напора жидкости в трубопроводах // Моделирование систем и процессов. 2022. Т. 15, № 2. С. 7-12.

6. **Шарибзянов Н.М.** Изучение потерь напора по длине и определение коэффициента гидравлического трения при установившемся движении жидкости // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2020. С. 1429-1433.

7. **Повх А.В.** Снижение гидравлического трения в трубопроводах // Научный журнал. 2020. № 2 (47). С. 36-39.

8. **Рутковскій М.А., Шибекo А.С., Галыня К.И.** Гидравлический расчет медных трубопроводов систем отопления и внутреннего газоснабжения // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 6. С. 508-514.

9. **Паливец М.С.** Анализ и экспериментальная оценка местных гидравлических потерь в шаровом кране при регулировании // Природообустройство. 2020. № 5. С. 82-87.

10. **Фоминых А.В., Тельминов А.В., Ковшова Н.А.** Зависимость коэффициента потерь на трение по длине трубы в гидравлических системах АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 3(27). С. 79-82.

11. **Борзенко Е.И., Рыльцев И.А., Шрагер Г.Р.** Потери давления для течения степенной жидкости в трубе переменного сечения // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2021. № 1. С. 3-11.

12. **Паливец М.С.** Экспериментальная оценка потерь напора по длине в гидравлически короткой трубе системы водоснабжения // Инновации и инвестиции. 2020. № 9. С. 216-220.

13. **Seoev L.V., Drozdov D.A., Plotnikova K.M., Elkin A.V.** Study of hydraulic resistance in collapsible pipelines // IOP Conference Series: materials Science and Engineering, Khanty-Mansyisk, February 21-22, 2019. Khanty-Mansyisk, 2020. P. 012022.

Критерии авторства

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

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023

Одобрена после рецензирования 06.02.2023

Принята к публикации 08.02.2023

6. **Sharibzyanov N.M.** Izuchenie poter napora po dline i opredelenie koeffitsienta gidravlicheskogo treniya pri ustanovivshemsya dvizhenii zhidkosti // Nauchnye trudy studentov Izhevskoj GSKHA / FGBOU VO «Izhevskaya gosudarstvennaya selskhozaystvennaya akademiya». Izhevsk: Izhevskaya GSKHA, 2020. S. 1429-1433.

7. **Povh A.V.** Snizhenie gidravlicheskogo treniya v truboprovodah // Nauchny zhurnal. 2020. № 2(47). S. 36-39.

8. **Rutkovskij M.A., Shibeko A.S., Galynya K.I.** Gidravlicheskiy raschet mednyh truboprovodov sistem otopeniya i vnutrennego gazosnabzheniya // Nauka i tekhnika. 2018. T. 17. № 6. S. 508-514.

9. **Paliivets M.S.** Analiz i eksperimentalnaya otsenka mestnyh gidravlicheskih poter v sharovom krane pri regulirovani // Prirodoobustrojstvo. 2020. № 5. S. 82-87.

10. **Fominyh A.V., Teljminov A.V., Kovshova N.A.** Zavisimost koeffitsienta poter na trenie po dline truby v gidravlicheskih sistemah APK // Vestnik Kurganskoy GSHA. 2018. № 3(27). S. 79-82.

11. **Borzenko E.I., Ryltsev I.A., Shrager G.R.** Poteri davleniya dlya techeniya stepennoj zhidkosti v trube perezmenogo secheniya // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza. 2021. № 1. S. 3-11.

12. **Paliivets M.S.** Eksperimentalnaya otsenka poter napora po dline v gidravlicheski korotkoj trube sistemy vodosnabzheniya // Innovatsii i investitsii. 2020. № 9. S. 216-220.

13. **Seoev L.V., Drozdov D.A., Plotnikova K.M., Elkin A.V.** Study of hydraulic resistance in collapsible pipelines // IOP Conference Series: materials Science and Engineering: Khanty-Mansyisk, February 21-22, 2019. Khanty-Mansyisk, 2020. P. 012022.

Criteria of authorship

Karpov D.F. and Pavlov M.V. conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contribution of authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 09.01.2023

Approved after reviewing 06.02.2023

Accepted for publication 08.02.2023

Оригинальная статья

УДК 532.55

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-76-81



ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЛА МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

Бакланова Дарья Викторовна, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

WoS ResearcherID: B-2211-2018/; ORCID: 0000-0002-6149-5073; SPIN-код: 8798-2000; AuthorID: 618663; d.baklanova@bk.ru

Баев Олег Андреевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

WoS ResearcherID: L-6929-2016/; Scopus AuthorID: 57196105439; ORCID:0000-0003-0142-4270; SPIN-код: 1280-0796; AuthorID: 699695; Oleg-Baev1@yandex.ru

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

Аннотация. Цель исследований – определение коэффициента шероховатости русла магистрального канала ВР-1 Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС) и сопоставление полученных данных с нормативными значениями. Материалами для выполнения расчетов послужили пояснительная записка к проекту II очереди строительства СООС, паспорта магистральных и межхозяйственных каналов системы (2015 г.), технический отчет эксплуатирующей организации за 2021 г., данные натурных измерений глубин и скоростей течения водного потока в рассматриваемом створе по методу «Скорость-площадь», результаты натурных обследований водопроводящей сети и ГТС СООС, а также данные ГИС-карт и источников литературы. Методология расчета элементов живого сечения каналов учитывала рекомендации СП 100.13330.2016. Расчет коэффициентов шероховатости русел выполнялся с использованием известных зависимостей, в том числе формулы Шези, уравнения Маннинга, зависимостей И.И. Агроскина и Н.Н. Павловского. Определены элементы живого сечения и получены значения коэффициента шероховатости в рассматриваемом створе магистрального канала. Полученные расчетные значения коэффициента шероховатости имеют хорошую сходимость (отклонение результатов не превышает 2,8%). Полученные значения превышают нормативное значение коэффициента шероховатости в 1,6-1,64 раза, что объясняется не только зарастанием русла канала водной растительностью, но и особенностью формы поперечного сечения данного канала, который на рассматриваемом участке имеет значительную ширину по дну. Подтверждено в процессе натурных обследований водопроводящей сети данного канала весной 2022 г. Ввиду этого необходимо своевременно проводить профилактические мероприятия, направленные на снижение дополнительного гидравлического сопротивления, вызванного зарастанием русла растительностью.

Ключевые слова: обводнительно-оросительная система, магистральный канал, коэффициент шероховатости, зарастание, русло

Формат цитирования: Бакланова Д.В., Баев О.А. Оценка гидравлической шероховатости русла магистрального канала // Природообустройство. 2023. № 1. С. 76-81. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-76-81.

© Бакланова Д.В., Баев О.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE HYDRAULIC ROUGHNESS OF THE MAIN CHANNEL BED

Baklanova Daria Viktorovna, candidate of technical sciences, leading researcher

WoS ResearcherID: B-2211-2018/; ORCID: 0000-0002-6149-5073; SPIN-код: 8798-2000; AuthorID: 618663; d.baklanova@bk.ru

Baev Oleg Andreevich, candidate of technical sciences, leading researcher

WoS ResearcherID: L-6929-2016/; Scopus AuthorID: 57196105439; ORCID:0000-0003-0142-4270; SPIN-код: 1280-0796; AuthorID: 699695; Oleg-Baev1@yandex.ru

Russian research institute of problems of land reclamation; 346421, Rostov region, NovoCherkassk, pr. Baklanobsky, 10, Russia

Annotation. The purpose of the study was to determine the roughness coefficient of the main channel bed ВР-1 of the Sarpinskaya watering-irrigation system (SWIS) and to compare the data obtained with the normative values. The materials for performing the calculations were:

an explanatory note to the project of the second stage of the construction of the SWIS, passports of the main and inter-farm channels of the system (2015), a technical report of the operating organization for 2021, data of full-scale measurements of the depths and velocities of the water flow in the considered alignment using the «speed-area» method, the results of full-scale surveys of the water supply network and HTS SWIS, as well as data from GIS maps and literary sources. The methodology for calculating the elements of the live section of the channels took into account the recommendations of SP 100.13330.2016. The calculation of the roughness coefficients of the channels was carried out using known dependencies, including the Chezy formula, the Manning equation, the dependencies of I.I. Agroskin and N.N. Pavlovsky. The elements of the living section are determined and the values of the roughness coefficient in the considered alignment of the main channel are obtained. At the same time, the calculated values of the roughness coefficient obtained have good convergence (the deviation of the results does not exceed -2.8%). However, the obtained values exceed the normative value of the roughness coefficient by 1.6-1.64 times, which is explained not only by the overgrowth of the channel bed with aquatic vegetation, but also by the peculiarity of the shape of the cross-section of this channel, which in the area under consideration has a significant width along the bottom. The calculated values of the roughness coefficient obtained indicate the overgrowth of the main canal bed, which was confirmed during field surveys of the water supply network of this canal in the spring of 2022. In view of this, it is necessary to carry out preventive measures in a timely manner aimed at reducing the additional hydraulic resistance caused by overgrowth of the riverbed with vegetation.

Keywords: watering and irrigation system, main channel, roughness coefficient, overgrowth, bed

Format of citation: Baklanova D.V., Baev O.A. Assessment of the hydraulic roughness of the main channel bed // Prirodoobustrojstvo. 2023. No.1. S. 76-81. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-76-81.

Введение. Государственной программой* эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации предусмотрено развитие мелиоративного комплекса страны. Для достижения поставленной цели необходимо предотвратить выбытие из сельскохозяйственного оборота мелиорированных земель за счет реконструкции, технического перевооружения и строительства новых объектов мелиоративного комплекса.

Применительно к условиям Республики Калмыкия, которая ограничена в водных ресурсах, восстановление изношенных оросительных систем и сокращение площадей засоленных земель являются приоритетным направлением сохранения и развития сельскохозяйственного производства на территории Республики, особенно в ее северных районах (Малодербетовский и Октябрьский), где сельскохозяйственное и питьевое водоснабжение обеспечивается за счет каналов Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС).

Сокращение площадей посевов риса в 2019-2022 гг. (рис. 1), орошаемых из СООС в Калмыкии, а также авария на Федоровском гидроузле, который обеспечивал поливы рисовых полей нескольких районов Краснодарского края, подтверждают необходимость интенсификации

производства данной зерновой культуры за счет организации рационального (водосберегающего) и эффективного водопользования [1-3].

Водоподача в основные магистральные и межхозяйственные каналы СООС Р-1 и ВР-1 осуществляется через каналы Р-1 и Р-3 Райгородской оросительной системы Волгоградской области, плавучие водозаборы которой расположены у с. Райгород на р. Волге. Водозабор производится на основе согласованных графиков забора воды между ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» и ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз». Основой для составления планов забора воды служат планы водопользования хозяйств с указанием

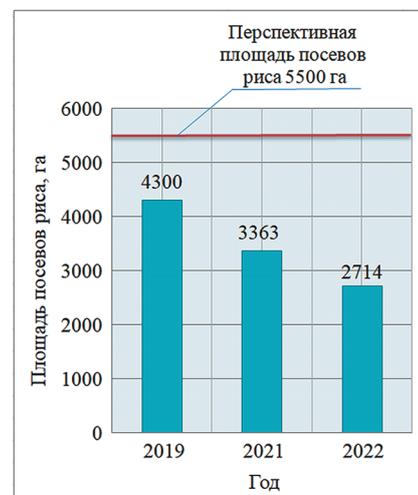


Рис. 1. Площади посевов риса в 2019-2022 гг. в пределах СООС
Fig. 1. Areas of rice crops in 2019-2022 within the limits of the SWIS

* Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации: утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2020 г. № 731.

структуры посевных площадей, способов и сроков полива, количества поливов и водопотребления по каждой сельскохозяйственной культуре.

По результатам натурных обследований каналов и гидротехнических сооружений (ГТС) СООС [4], проведенных весной 2022 г., установлено, что дамбы каналов на отдельных участках разрушены, наблюдается затопление приканальных территорий. В экологическом аспекте с началом поливного сезона и увеличением водоподдачи эти территории заболачиваются и интенсивно зарастают водной растительностью и мелколесьем (рис. 2).

Ввиду необходимости обоснования мероприятий по техническому совершенствованию водопроводящей сети СООС, которая выполнена в земляном русле [5-7], оценка гидравлических условий работы ее каналов является актуальной задачей.

Цель исследований: определение значения коэффициента шероховатости русла магистрального канала ВР-1 на участке гидрометрического поста (ГП), сопоставление полученных данных с нормативными значениями.

Изучением гидравлических сопротивлений (шероховатости) искусственных водотоков (в том числе с применением различных материалов) занимались В.Т. Чоу [6], Э.Л. Беновицкий [7], И.А. Долгушев [8], Ю.М. Косиченко [9-11]. Результаты исследований шероховатости водосбросов рассмотрены в работах А.П. Гурьева, Д.В. Козлова, Н.В. Ханова [12, 13]. Исследования шероховатости быстротокос отражены в работах И.А. Рыловой [14], А.А. Ткачева [15, 16] и других ученых [17, 18].

Материалы и методы исследований.

Объект исследований – магистральный и межхозяйственный канал ВР-1 СООС, который является продолжением канала Р-3 Райгородской оросительной системы. Канал ВР-1 протяженностью 97 км подает воду для орошения лиманов и рисовых севооборотов, введен в эксплуатацию в 1965 г. Согласно паспорту (2015 г.) канал не облицован, выполнен в полувыемке-полунасыпи,

имеет трапецеидальное сечение и рассчитан на форсированный расход (в голове канала) $38 \text{ м}^3/\text{с}$ (нормальный расход – $25 \text{ м}^3/\text{с}$).

Материалами для выполнения расчетов послужили пояснительная записка к проекту II очереди строительства СООС (1975 г.), паспорта магистральных и межхозяйственных каналов системы (2015 г.), технический отчет Сарпинского филиала ФГБУ Управление «Калммелиоводхоз» за 2021 г., данные натурных измерений глубин и скоростей течения водного потока на вертикалях в створе ГП по методу «Скорость-площадь» (май 2022 г.) (табл. 1), результаты натурных обследований водопроводящей сети и ГТС СООС, данные ГИС-карт и источников литературы [19].

В процессе длительной эксплуатации земляные русла каналов, как правило, зарастают влаголюбивой растительностью, поперечные сечения каналов деформируются, оползают откосы, изменяются скорость течения и продольный уклон. Ввиду этого, а также наличия в руслах каналов перегораживающих сооружений движение воды в них является неравномерным. Однако на транзитных участках значительной протяженности, где для выравнивания потока имеется прямолинейный участок, движение жидкости можно считать равномерным. Для выполнения расчетов используется формула Шези [12-14]:

$$Q = S \cdot C \sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

где Q – расход воды в канале, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площадь живого сечения, м^2 ; C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0.5}/\text{с}$; R – гидравлический радиус, м ; i – гидравлический уклон.

Расчет основных элементов живого сечения канала выполнялся с учетом рекомендаций СП 100.13330.2016 (табл. 2).

1. Для приближенных расчетов при определении коэффициента Шези C , $\text{м}^{0.5}/\text{с}$, допустимо использовать формулу Маннинга (1890 г.):

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}, \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости.



Рис. 2. Разрушение дамбы канала и подтопление приканальных территорий на МК ВР-1 СООС (фото предоставлено ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз»)

Fig. 2. Destruction of the channel dam and flooding of the adjacent territories on MK VR-1 SWIS (photo provided by the Federal State Budgetary Institution «Management «Kalmmeliovodkhoz»)

Средняя скорость потока в живом сечении (v_{cp} , м/с) определяется по зависимости [18-20]:

$$v_{cp} = \frac{Q}{S}. \quad (3)$$

Тогда с учетом (1)-(3) коэффициент шероховатости n можно определить как [18-20]

$$n = \frac{R^{2/3} \cdot i^{1/2}}{v_{cp}}. \quad (4)$$

2. Коэффициент шероховатости русла также можно определить по полуэмпирической зависимости логарифмического типа И.И. Агроскина (1949 г.) [20, 21]:

$$n = \frac{1}{C - 17,721 \cdot \lg R}. \quad (5)$$

Выразив из формулы (5) коэффициент Шези и подставив полученное выражение в формулу (1), получим

$$n = \frac{1}{\frac{Q}{S \cdot \sqrt{R} \cdot i} - 17,721 \cdot \lg R}. \quad (6)$$

3. Коэффициент шероховатости также можно определить с использованием формулы Н.Н. Павловского [20, 22]:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (6)$$

где y – показатель степени, $y = 1,3\sqrt{n}$ при $R > 1$.

Тогда с учетом (1), (6) и данных, представленных в таблицах 1 и 2, формула для определения коэффициента шероховатости примет вид:

$$28,82 \cdot n = 1,27^{1,3\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Решая уравнение (7) методом последовательных приближений, найдем значение коэффициента шероховатости n .

Результаты и их обсуждение. Сводные результаты расчетов коэффициента шероховатости отражены в таблице 3.

Анализ расчетных значений коэффициента шероховатости показывает хорошую сходимость результатов расчета с наибольшим расхождением – 2,8%. Однако полученные значения n превышают нормативное значение коэффициента шероховатости в 1,6-1,64 раза, что объясняется не только зарастанием русла канала водной

Таблица 1. Сводные данные измерений в створе ГП

Table 1. Summary of measurements in the GP alignment

Длина прямолинейного участка, $l_{пр}$, км Length of the rectilinear section, $l_{пр}$, km	Элемент потока Flow element	Оборудование Equipment	Кол-во скоростных вертикалей, шт. Number of high-speed verticals, pcs.	Параметры русла Riverbed parameters			Характеристики водного потока Characteristics of the water flow		
				Ширина канала по дну, b , м Channel width along the bottom, b , m	Коэффициент заложения откоса, m Slope laying coefficient, m	Гидравлический уклон, $i \times 10^{-4}$ Hydraulic slope, $i \times 10^{-4}$	Средняя скорость v_{cp} , м/с Average speed of v_{cp} , m/s	Глубина (наполнение), h , м Depth (filling), h , m	Расход, Q , м ³ /с Flow rate, Q , m ³ /s
2,25	Русло канала в створе ГП Channel bed in the alignment of the GP	Гидрометрическая вертушка ГР-21М Hydrometric turntable GR-21M	17	17	3	2	0,46	1,57	15,65

Таблица 2. Расчетные значения элементов живого сечения магистрального канала в створе ГП

Table 2. Calculated values of the elements of the live section of the main channel in the alignment of the GP

Ширина по верху, B , м Width at the top B , m	Площадь живого сечения, S , м ² The area of the living section, S , m ²	Смоченный периметр, χ , м Wetted perimeter, χ , m	Гидравлический радиус, R , м Hydraulic radius, R , m
26,42	34,08	26,93	1,27

растительностью, но и особенностью формы поперечного сечения данного канала, который

на рассматриваемом участке имеет значительную ширину по дну (до $b = 17$ м).

Таблица 3. Сводные результаты расчетов и сопоставления полученных значений коэффициента шероховатости

Table 3. Summary results of calculations and comparison of the obtained values of the roughness coefficient

С учетом (2) (по Маннингу) <i>Taking into account (2) (according to Manning)</i>	Расчетные значения n <i>Calculated values n</i>	Нормативное значение n_n <i>Normative value n_n</i>	
0,0360	0,0370	0,0368	0,0225

Примечание / Note:

¹ Проверка решения уравнения (7) при $n = 0,0368$ / Checking the solution of equation (7) at $n = 0,0368$: $28,82 \cdot 0,0368 = 1,061$; $1,27^{1,3\sqrt{0,0368}} = 1,061$ – значение n определено верно / the value of n is determined correctly.

Выводы

На основе натуральных данных определены элементы живого сечения и получены расчетные значения коэффициента шероховатости в рассматриваемом створе русла магистрального канала. При этом полученные расчетные значения имеют хорошую сходимост, однако в целом превышают нормативное значение коэффициента шероховатости в 1,6-1,64 раза.

Стоит отметить, что полученные значения коэффициента шероховатости нельзя считать постоянными, так как данный параметр является переменным. В начале вегетационного сезона (ранней весной) коэффициент (n) имеет наименьшие значения, а к середине июня значительно возрастает, когда русла

начинают зарастать [9]. Кроме того, на значение коэффициента оказывает влияние изменчивость пропускаемых по руслу расходов, так как при пропуске малых расходов каналы начинают зарастать не только вдоль берегов, но и по откосам.

Проведенные в мае 2022 г. натурные обследования СООС подтвердили наличие растительности вдоль берегов и на откосах магистральных каналов ВР-1, «Обводной», «Водоподающий» СООС. Ввиду этого на каналах системы необходимо своевременно проводить своевременные профилактические мероприятия, направленные на снижение дополнительного гидравлического сопротивления, вызванного зарастанием растительностью их русел.

Список использованных источников

1. Колганов А.В., Баев О.А., Бакланова Д.В. Результаты натуральных исследований магистрального канала в Республике Калмыкия // Природообустройство. 2022. № 3. С. 108-114.
2. Бакланова Д.В. Анализ проблем функционирования Сарпинской обводнительно-оросительной системы в Республике Калмыкия // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 209-222.
3. Бакланова Д.В. Пути обеспечения рационального и эффективного водопотребления в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 2 (86). С. 22-31.
4. Сухов А.А., Арьков Д.П., Никифорова Д.Н., Ляшенко К.А. Сарпинская оросительно-обводнительная система на территориях Волгоградской, Астраханской областей и Республики Калмыкия, ее геоэкологические и гидротехнические проблемы и пути их решения // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 2. С. 28-32.
5. Дедова Э.Б., Шабанов Р.М., Дедов А.А. Пути повышения эффективности функционирования рисовой оросительной системы на территории Сарпинской низменности // Colloquium-journal. 2019. № 5 (29). С. 41-43.
6. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов: Пер. с англ. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.
7. Беновицкий Э.Л. Вывод расчетных зависимостей для коэффициента шероховатости частично заросших русел // Водные ресурсы. 1988. № 1. С. 68-74.
8. Долгушев И.А. Повышение эксплуатационной надежности оросительных каналов. М.: Колос, 1975. 136 с.

References

1. Kolganov A.V., Baev O.A., Baklanova D.V. Rezultaty naturalnyh issledovaniy magistralnogo kanala v Respublike Kalmykiya // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 3. S. 108-114.
2. Baklanova D.V. Analiz problem funkcionirovaniya Sarpinskoj obvodnitelno-orositelnoj sistemy v Respublike Kalmykiya // Melioratsiya i gidrotehnika. 2022. T. 12. № 2. S. 209-222.
3. Baklanova D.V. Puti obespecheniya ratsionalnogo i effektivnogo vodopotrebleniya v zone dejstviya Sarpinskoj obvodnitelno-orositelnoj sistemy // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2022. № 2(86). S. 22-31.
4. Suxov A.A., Arkov D.P., Nikiforova D.N., Lya-shenko K.A. Sarpinskaya orositelno-obvodnitelnaya sistema na territoriyah Volgogradskoj, Astrahanskoj oblasti i Respubliki Kalmykiya, ee geoeologicheskie i gidrotehnicheskie problemy i puti ih resheniya // Vestnik meliorativnoj nauki. 2021. № 2. S. 28-32.
5. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A. Puti povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya risovoj orositelnoj sistemy na territorii Sarpinskoj nizmennosti // Colloquium-journal. 2019. № 5 (29). S. 41-43.
6. Chou V.T. Gidravlika otkrytyh kanalov / [per. s angl.]. M.: Strojizdat. 1969. 464 s.
7. Benovitskij E.L. Vyvod raschetnyh zavisimostej dlya koeffitsienta sherohovatosti chastichno zarosshih rusel // Vodnye resursy. 1988. № 1. S. 68-74.
8. Dolgushev I.A. Povyshenie ekspluatatsionnoj nadezhnosti orositelnyh kanalov. M.: Kolos, 1975. 136 s.
9. Kosichenko Yu.M. Obobshchenie dannyh po sherohovatosti rusel kanalov v zemlyanom rusle i oblitsovke // Ekologiya i vodnoe hozyajstvo. 2020. № 2 (5). S. 155-168.

9. **Косиченко Ю.М.** Обобщение данных по шероховатости русел каналов в земляном русле и облицовке // Экология и водное хозяйство. 2020. № 2 (5). С. 155-168.

10. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1147-1162.

11. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90-98.

12. **Ханов Н.В.** Гидравлика водосбросов с тангенциальными завихрителями: монография. М.: МСХ РФ; МГУП, 2003. 224 с.

13. **Гурьев А.П., Румянцев И.С., Козлов Д.В., Ханов Н.В. и др.** Модельные гидравлические исследования водосброса № 2 Богучанской ГЭС с отбросом струи с длинными разделительными стенками // Приволжский научный журнал. 2009. № 1 (9). С. 57-65.

14. **Рылова И.А., Боровков В.С.** Эквивалентная шероховатость напорных и безнапорных водоводов // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 181-187.

15. **Ткачев А.А., Гурин К.Г.** Опытное определение формы движения потока на лотке быстроготока с усиленной шероховатостью при пропуске расчетного расхода $q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 145-летию образования «Донлесхоза» (ГБУ РО «Дирекция особо охраняемых природных территорий областного значения»). Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 109-118.

16. **Ткачев А.А., Гурин К.Г.** Гидравлические лабораторные исследования лотка быстроготока Новотроицкого водохранилища при пропуске расчетного расхода $q = 260 \text{ м}^3/\text{с}$ // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы II Международной научно-практической интернет-конференции. Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 65-76.

17. **Huai W.X., Zhang J., Wang W.J., Katul G.G.** Turbulence structure in open channel flow with partially covered artificial emergent vegetation // Journal of Hydrology. 2019. Pp. 180-193.

18. **Мамедов Ахмед Ширин Оглы.** О расчете коэффициента Шези речного потока // Природообустройство. 2011. № 3. С. 62-67.

19. **Кочкарева А.С., Ахмедова Н.Р.** Определение коэффициентов шероховатости при выполнении гидрологических исследований // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7, № 1. С. 17-22.

20. **Богомолов А.И., Михайлов К.А.** Гидравлика: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1965. 632 с.

21. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев и др. 4-е изд., перераб. и доп.; репр. воспр. изд. 1972 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.

22. **Снежко В.Л.** Использование универсальных формул при экспериментальном определении гидравлически эквивалентной шероховатости // Научное обозрение. 2011. № 3. С. 28-36.

Критерии авторства

Бакланова Д.В., Баев О.А. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 16.12.2022

Одобрена после рецензирования 11.01.2023

Принята к публикации 15.01.2023

10. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Gidravlicheskaya effektivnost orositelnykh kanalov pri ekspluatatsii // Vestnik MGSU. 2020. T. 15. № 8.

S. 1147-1162.

11. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Osobennosti gidravlicheskih i filtratsionnykh raschetov osushitelno-orositelnoy sistemy // Prirodoobustrojstvo. 2021. № 4. S. 90-98.

12. **Khanov N.V.** Gidravlika vodosbrosov s tangencial'ny'mi zavixritelyami: monografiya. M.: MSH RF; MGUP, 2003. 224 s.

13. **Gurjev A.P.** Modelnye gidravlicheskie issledovaniya vodosbrosa № 2 Boguchanskoj GES s otbrosom strui s dlinnymi razdelitel'nymi stenkami / Rumyantsev I.S., Kozlov D.V., Khanov N.V. i dr. // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2009. № 1(9). S. 57-65.

14. **Rylova I.A., Borovkov V.S.** Ekvivalentnaya sherohovatost napornyh i beznapornyh vodovodov // Vestnik MGSU. 2013. № 4. S. 181-187.

15. **Tkachev A.A., Gurin K.G.** Opytnoe opredelenie formy dvizheniya potoka na lotke bystrotoka s usilenoj sherohovatost'ju pri propuske raschetnogo rashoda $q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, posvyashchennoj 145-letiyu obrazovaniya «Donleskhoza» (GBU RO «Direktsiya osobo ohranyaemykh prirodnykh territorij oblastnogo znacheniya»). Novocherkassk: ООО «Лик», 2021. S. 109-118.

16. **Tkachev A.A., Gurin K.G.** Gidravlicheskie laboratornye issledovaniya lotka bystrotoka Novotroitskogo vodohranilishcha pri propuske raschetnogo rashoda $q = 260 \text{ м}^3/\text{с}$ // Melioratsiya kak drajver modernizatsii APK v usloviyah izmeneniya klimata: materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj internet-konferentsii. Novocherkassk: ООО «Лик», 2021. S. 65-76.

17. **Huai W.X., Zhang J., Wang W.J., Katul G.G.** Turbulence structure in open channel flow with partially covered artificial emergent vegetation // Journal of Hydrology. 2019. Pp. 180-193.

18. **Mamedov Axmed Shirin Ogly.** O raschete koeffitsienta Shezi rechnogo potoka // Prirodoobustrojstvo. 2011. № 3. S. 62-67.

19. **Kochkareva A.S., Ahmedova N.R.** Opredelenie koeffitsientov sherohovatosti pri vypolnenii gidrologicheskikh issledovanij // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2021. T. 7. № 1. S. 17-22.

20. **Bogomolov A.I., Mikhajlov K.A.** Gidravlika: uchebnik dlya vuzov. M.: Strojizdat, 1965. 632 s.

21. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]. 4-е изд., перераб. и доп.; репр. воспр. изд. 1972 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.

22. **Snezhko V.L.** Ispolzovanie universalnykh formul pri eksperimentalnom opredelenii gidravlicheski ekvivalentnoj sherohovatosti // Nauchnoe obozrenie. 2011. № 3. S. 28-36.

Criteria of authorship

Baklanova D.V., Baev O.A. 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.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

Contributions of the authors

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 16.12.2022

Approved after reviewing 11.01.2023

Accepted for publication 15.01.2023

Оригинальная статья

УДК 551.585

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-82-88



УЧЕТ И ОЦЕНКА НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ РЕЧНОГО БАССЕЙНА

Исмайлова Ирина Габилевна, заведующий лабораторией

SPIN-код: 9179-2178, AuthorID: 1143835; igism37@mail.ru

Исмайлов Габил Худуш оглы ✉, *д-р техн. наук, профессор*

SPIN-код: 6765-8135, AuthorID: 135757; gabil-1937@mail.ru

Мураценкова Наталья Владимировна, канд. техн. наук, доцент

SPIN-код: 9411-3366, AuthorID: 604831; splain75@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127454, г. Москва, ул. Прянишникова, 19, Россия

Аннотация. Рассматривается обоснование учета и оценки нестационарности развития гидрологических процессов в бассейне р. Волги при определении параметров функционирования Волжской водохозяйственной системы. Основными целями исследований являются выявление нестационарности в формировании речного стока и разработка методов ее оценки. Решается задача построения динамико-стохастической модели, учитывающей нестационарность формирования речного стока в различное время. Произведено обобщение динамико-стохастического подхода для анализа и оценки многолетнего колебания притока речных вод р. Волги у г. Волгограда. Стохастическая связь между стоком смежных лет выражается функцией перехода, управляющей марковским процессом. Оценка стационарности (нестационарности) многолетнего колебания речного стока осуществлена по критерию Фишера (однородность выборочных дисперсий), по критерию Стьюдента (однородность выборочных средних), по критерию Колмогорова-Смирнова (однородность выборок) и парной корреляции (наличие тренда). Описание характера протекания гидрологических процессов представлено моделью, определяемой динамико-стохастическим подходом, при рассмотрении нестационарного процесса годового стока р. Волги. На основе применения концепции квазистационарности получены функции обеспеченности годового стока р. Волги, используемые для вероятностной оценки притока речных вод в бассейне Волги. Проведенный анализ многолетних колебаний годового стока р. Волги позволил выявить, что изменчивость речного стока исследуемого бассейна имеет две составляющие: детерминированную и случайную. Детерминированная составляющая проявляется в изменении во времени среднего значения стока р. Волги, а случайная составляющая наблюдается в нерегулярных ежегодных отклонениях величин стока от его среднего значения (нормы). Такой подход применяется при вероятностной оценке притока речных вод в бассейне р. Волги.

Ключевые слова: речной сток, стационарность, нестационарность, марковский процесс, стохастический процесс, тренд, детерминированная составляющая, обеспеченность, квазистационарность

Формат цитирования: Исмайлова И.Г., Исмайлов Г.Х., Мураценкова Н.В.

Учет и оценка нестационарности при управлении водными ресурсами речного бассейна // Природообустройство. 2023. № 1. С. 82-88. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-82-88.

© Исмайлова И.Г., Исмайлов Г.Х., Мураценкова Н.В., 2023

Original article

ACCOUNTING AND ASSESSMENT OF NON-STATIONARITY IN THE MANAGEMENT OF RIVER BASIN WATER RESOURCES

Ismailylova Irina Gabilovna ✉, *head of the laboratory*

SPIN-код: 9179-2178, AuthorID: 1143835; igism37@mail.ru

Ismayilov Gabil Khudush oglu, doctor of technical sciences, associate professor

SPIN-код: 6765-8135, AuthorID: 135757; gabil-1937@mail.ru

Murashchenkova Natalya Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor

SPIN-код: 9411-3366, AuthorID: 604831; splain75@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», 127454, Moscow, Pryanishnikova, 19, Russian Federation

Annotation. This paper considers the rationale for taking into account and assessing the non-stationarity of the development of hydrological processes in the Volga River basin when determining the parameters of the functioning of the Volga water management system. The main purpose of the study is to identify non-stationarity in the formation of river runoff and develop methods for its assessment. The problem of constructing a dynamic-stochastic model is solved, which takes into account the non-stationarity of the formation of river runoff in different periods of time. A generalization of the dynamic-stochastic approach for the analysis and evaluation of long-term fluctuations in the inflow of river waters of the Volga River near the city of Volgograd is made. The stochastic relationship between the runoff of adjacent years is expressed by the transition function that controls the Markov process. Stationarity (non-stationarity) of long-term fluctuations in river runoff was assessed using the Fisher criterion (homogeneity of sample variances), Student's criterion (homogeneity of sample means), Kolmogorov-Smirnov criterion (homogeneity of samples) and pair correlation (presence of a trend). The description of the nature of the flow of hydrological processes is represented by a model determined by the dynamic-stochastic approach when considering the non-stationary process of the annual flow of the Volga River. Based on the application of the concept of quasi-stationarity, the functions of the availability of the annual flow of the Volga River are obtained, which are used for a probabilistic assessment of the inflow of river waters in the Volga basin. The analysis of long-term fluctuations of the annual runoff of the Volga River made it possible to reveal that the variability of the river runoff of the studied basin has two components – deterministic and random. The deterministic component manifests itself in the change in time of the average value of the flow of the Volga River, and the random component is observed in the irregular annual deviations of the flow from its average value (norm). This approach is used in the probabilistic assessment of the inflow of river waters in the Volga river basin.

Keywords: River runoff, stationarity, non-stationarity, Markov process, stochastic process, trend, deterministic component, supply, quasi-stationarity

Format of citation: Ismajlyova I.G., Ismaiyllov G.H., Muraschenkova N.V. Accounting and assessment of non-stationarity in the management of river basin water resources // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 1. S. 82-88. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-82-88.

Введение. Одной из важнейших задач в общей системе управления водопользованием является задача количественного описания характера протекания гидрологических процессов. Гидрологические процессы относятся к разряду довольно сложных природных процессов. Условия их развития определяются действием многих факторов. Эти процессы содержат в себе как детерминированную, так и случайную составляющие.

Детерминированная составляющая порождается действием мощных геофизических и гелиофизических причин, приводящих к значительным изменениям климатических и погодных условий. В результате в гидрологических процессах проявляются крупные направленные изменения (длительные изменения, связанные с потеплением или похолоданием климата) или весьма существенные периодические колебания (сезонные колебания). Случайная же составляющая формируется под действием большого количества разносторонне направленных факторов.

В современных условиях описать в хронологическом порядке, и тем более спрогнозировать результат совместного действия многих

разносторонне направленных факторов, практически не представляется возможным. В силу этого кажущиеся беспорядочные флуктуации гидрологических элементов принято называть случайными колебаниями, и для их описания применяются методы математической статистики и теории вероятностей [1-9].

В существующей практике гидрологических расчетов оценка основных параметров развития гидрологических процессов хорошо изложена в работах С.Н. Крицкого, М.Ф. Менкеля, Е.Г. Блохинова, М.В. Болгова, Д.Я. Ратковича и А.В. Рождественского [2-4, 6, 7, 9]. Авторы этих работ исходили в основном из концепции стационарности протекания гидрометеорологических процессов. Однако, имеющиеся в настоящее время многолетние инструментальные наблюдения за речным стоком различных речных бассейнов ставят под сомнение дальнейшее применение концепции стационарности. Например, исследования, проведенные авторами Г.Х. Исмайловым и Н.В. Муращенко [10, 11], достаточно очевидно показали несостоятельность концепции стационарности формирования речного стока

на достаточно длительный период, в котором функционируют различные виды природных и хозяйственных факторов. Поэтому для решения проблемы управления водными ресурсами придется ставить под сомнение весь комплекс представлений, связанных с гипотезой о стационарности режима природных вод. Это обусловлено изменением элементов водного баланса и режима речных бассейнов как вследствие естественных флуктуаций гидрометеорологических условий под влиянием глобальных изменений климата, так и под воздействием антропогенных факторов.

Анализ условий формирования стока р. Волги со всей очевидностью свидетельствует о необходимости детального рассмотрения закономерностей динамики климатических и антропогенных факторов, воздействующих на сток р. Волги [12-15]. В связи с этим ставится и решается задача перехода от стационарности притока речных вод к нестационарности в их многолетних колебаниях.

Материалы и методы исследований.

В настоящее время в гидрологическом обосновании водохозяйственных мероприятий существует концепция о стохастической природе формирования речного стока [7, 9]. Согласно этой концепции принята гипотеза о стационарности колебания климатических и гидрологических характеристик. Для описания закономерностей колебания речного стока используется вероятностно-статистическая оценка изменения стока во времени [1-3, 7]. Выявленные закономерности в формировании речного стока распространяются и на будущий период [6].

Как отмечено выше, взгляд на используемую концепцию стационарности формирования гидрологических процессов за определенный период претерпел изменения в связи с наблюдающимися колебаниями глобального и регионального климата [11-18]. В связи с этим, основными целями данной работы являются исследования нестационарности в формировании речного стока и разработка методов их оценки. Соответственно цели исследования решаются такие задачи, как:

- ▶ выявление трендов в многолетних колебаниях гидрометеорологических процессов на основе статистического анализа;
- ▶ применение концепции нестационарности для оценки параметров функции распределения (вероятности превышения) характеристик речного стока на предстоящий период;
- ▶ построение динамико-стохастической модели, учитывающей нестационарность формирования речного стока в различные отрезки времени.

Таким образом, формулируется следующая постановка задачи: при заданных исходных временных стоковых рядах построить

динамико-стохастическую модель речного стока, которая позволяет учесть нестационарность климатических и гидрологических процессов, свойственных отдельным отрезкам времени [5].

Для решения поставленной задачи, то есть для построения динамико-стохастической модели речного стока, использованы данные о годовых значениях боковой приточности бассейна р. Волги у г. Волгограда за периоды с 1914/1915 по 2014/2015 гг. ($n=102$ год) (первая версия) и период с 1881/1882 по 1994/1995 гг. ($n = 114$ лет) (вторая версия).

Гидрологический цикл представляет собой заверченный процесс круговорота и перераспределения воды между атмосферой и сушей. Этот процесс непрерывно изменяет баланс между водами суши и атмосферы. Для каждого речного бассейна выполняется баланс массы между притоком воды, ее оттоком и изменением влагозапасов в пределах бассейна.

В методическом плане интересует динамическая реакция расхода воды $X(t) = Q(t)$ бассейна на стохастическую функцию осадки (входной сигнал) в некоторые моменты времени: $X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)$. Суть моделирования притока речных вод заключается в том, что по имеющимся экспериментальным (наблюденным) данным определяются параметры и строится одномерная интегральная функция распределения случайной величины X :

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x) dx, \quad (1)$$

где $F(X)$ – интегральная функция распределения случайной величины X ; $f(x)$ – плотность вероятности распределения случайной величины X .

В гидрологии распределение стока представляется кривой обеспеченности $P(x)$ [2, 4, 9]. Связь ординат кривой обеспеченности с обычно применяемой в теории вероятностей и математической статистике функцией распределения вероятностей выражается следующей зависимостью:

$$P(X) = 1 - F(x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(x) dx, \quad (2)$$

где $P(X)$ – вероятность осуществления неравенства $X \geq x$, иначе называемая вероятностью превышения (обеспеченность).

Как видим из уравнений (1) и (2), приток речных вод является непрерывным стохастическим процессом [2, 4, 6, 7], однако для решения водохозяйственных задач его можно рассматривать как процесс Маркова с дискретным временем [3, 4]. Сначала учитывают наличие стохастической связи между стоками смежных лет, пренебрегая связью между стоками несмежных лет.

Таким образом, колебания годовых стоков здесь рассматриваются как простая цепь Маркова. Стохастическая связь между стоками смежных лет выражается функцией перехода $F\left(\frac{k_{i+1}}{k_i}\right)$, управляющей марковским процессом. Ее значения – суть условные вероятностные распределения k_{i+1} при заданных значениях k_i (модульный коэффициент стока), который описывается уравнением:

$$k_{i+1}(k_i) - \bar{k}_{i+1} = r \frac{\sigma_{k_{i+1}}}{\sigma_{k_i}} (k_i - \bar{k}_i), \quad (3)$$

где $k_{i+1}(k_i)$ – условное математическое ожидание k_{i+1} при заданном k_i ; $\sigma_{k_{i+1}}$ и σ_{k_i} – безусловные стандарты (средние квадратичные отклонения) годовых объемов стока; \bar{k}_i и \bar{k}_{i+1} – безусловные математические ожидания годовых объемов стока.

Поскольку рассматривается корреляция между стоками смежных лет, то есть исследуются связи членов некоторого ряда с членами того же ряда, смещенного на один год, то очевидно, что $\sigma_{k_{i+1}} = \sigma_{k_i}$; $\bar{k}_i = \bar{k}_{i+1} = 1$. Тогда зависимость (3) примет следующий вид:

$$k_{i+1}(k_i) = 1 + r(k_i - 1), \quad (4)$$

где r – коэффициент корреляции стока смежных лет.

Случайную составляющую уравнения (4) k_{i+1} при известном и коррелятивно с ней связанном значении k_i можно определить с помощью зависимости

$$k_{i+1} = 1 + r(k_i - 1) + \Phi_{i+1} C_v \sqrt{1 - r^2}, \quad (5)$$

где Φ_{i+1} – распределение Фостера-Рыбкина; C_v – коэффициент вариации (изменчивости) речного стока.

Величина Φ_{i+1} определяется по таблице Фостера-Рыбкина в зависимости от условного коэффициента асимметрии, вычисляемого по формуле:

$$C_{S_{\text{ysel}}}^{(i+1)} = \frac{2C_v \sqrt{1 - r^2}}{1 + r(k_i - 1)}, \quad (6)$$

где $C_{S_{\text{ysel}}}^{(i+1)}$ – условный коэффициент асимметрии.

Если от модульных коэффициентов перейти к абсолютным величинам среднегодового объема притока воды W_i (или к среднегодовым расходам воды Q_i), то формула (5) примет вид:

$$W_{i+1} = \bar{W} + r(W_i - \bar{W}) + \Phi_{i+1} \sigma_w \sqrt{1 - r^2}, \quad (7)$$

где W_{i+1} и W_i – среднегодовой объем притока воды в момент времени i и $i+1$; \bar{W} – среднеегодовое значение притока воды; σ_w – среднеегодовое отклонение (стандарт).

Как следует из уравнения (5), приток речных вод W_{i+1} зависит от двух составляющих: зависимой $1 + r(k_i - 1)$ и случайной $\Phi_{i+1} \sigma_w \sqrt{1 - r^2}$. Выявленные особенности уравнения регрессии (7) позволяют в водохозяйственных расчетах осуществить переход от нестационарного притока

речных вод $W(t) = W_{i+1}$ к стационарным условиям $Y(t)$ по формуле:

$$Y(t) = \frac{W(t) - \bar{W}(t)}{\sigma(t)} = \frac{W(t) - m(t)}{\sigma(t)}, \quad (8)$$

где $Y(t)$ – приток речных вод; $W(t)$ – среднегодовой объем притока; $\bar{W}(t)$ – среднеегодовое значение притока; $m(t)$ – математическое ожидание; $\sigma(t)$ – среднеегодовое отклонение.

Обратный переход к нестационарным условиям, учитывающим временную изменчивость притока речных вод и их флуктуационную структуру, может быть осуществлен по выражению:

$$W(t, p) = m(t) + Y(p) \sigma(t), \quad (9)$$

где $W(t, p)$ – среднегодовой объем притока воды; $m(t)$ – математическое ожидание; $Y(p)$ – вероятностный процесс речного стока; $\sigma(t)$ – среднеегодовое отклонение.

Следует отметить, что уравнение (9) по оценке нестационарности в развитии гидрологических процессов относится к естественным условиям. Между тем нестационарность может обуславливаться и антропогенными факторами. Вполне понятно, что влияние хозяйственной деятельности на условия формирования водных ресурсов также должно учитываться в расчетах.

Таким образом, процедуру учета нестационарности притока речных вод с использованием уравнений (7)-(9) можно описать как $W(t) = m(t) + \Delta W(t)$, а распределение его значений в каждый момент времени можно представить в виде: $W(t, p) = m(t) + \Delta W(p)$.

Как видим, задача получения вероятностных оценок нестационарного притока речных вод сводится к динамико-стохастической задаче (1)-(9). При этом необходимо, во-первых, определить условия изменения во времени детерминированной составляющей $m(t)$, во-вторых – установить характер колебаний случайной составляющей $\Delta W(p)$.

Результаты и их обсуждение. В качестве примера, иллюстрирующего возможности использования указанных выше подходов для решения задач оценки явления нестационарности в развитии гидрологических процессов, рассмотрим вероятностную оценку притока речных вод р. Волги у г. Волгограда.

С использованием имеющейся информации по многолетним рядам наблюдений различной длины оценивались статистические параметры стока, исследовалась степень их изменения в зависимости от длительности периода. Результаты этих исследований приведены в таблице 1. Как следует из таблицы, выявляются два различных периода, отличающиеся по своей водности: длительный маловодный период – 1881-1975; многоводный – 1976-1994 гг., или соответственно 1914-1976 и 1977-2014 гг.

Таблица 1. Статистические характеристики годового стока бассейна реки Волги в замыкающем створе (г. Волгоград) за выбранные периоды времени

Table 1. Statistical characteristics of the annual flow of the Volga River basin in the closing alignment (Volgograd) for the selected time periods

Период <i>Period</i>	Средний годовой сток, км ³ <i>Average annual runoff, km³</i>	Среднеквадратическое отклонение, км ³ <i>Standard deviation, km³</i>	Коэффициент вариации, C_v <i>Coefficient of variation</i>	Коэффициент асимметрии C_s <i>Assymetry factor</i>	Коэффициент автокорреляции, [r] <i>Autocorrelation coefficient</i>
Условно-естественный сток / Conditionally natural runoff					
1881-1994 гг.	257	45.1	0.18	0.36	0.43
1881-1975 гг.	251	43.3	0.17	0.34	0.38
1976-1994 гг.	287	42.8	0.15	0.30	0.21
1914-2014 гг.	257	43.0	0.17	0.34	0.42
1914-1976 гг.	250	43.2	0.17	0.34	0.40
1977-2014 гг.	276	31.1	0.13	0.26	0.25
Наблюденный сток / Recorded runoff					
1881-1994 гг.	248	44.0	0.18	0.36	0.40
1881-1975 гг.	243	43.3	0.18	0.36	0.38
1976-1994 гг.	265	44.6	0.17	0.34	0.04
1914-2014 гг.	247	45.7	0.18	0.36	0.52
1914-1976 гг.	233	45.2	0.19	0.38	0.44
1977-2014 гг.	272	35.5	0.13	0.26	0.22

Статистические параметры этих периодов различаются. Выявленные различия объясняется тем, что на формирование стока р. Волги определяющее влияние оказывают климатические факторы.

Исследуемые временные ряды наблюдений за речным стоком р. Волги за рассматриваемые периоды были подвергнуты проверке на однородность. Оценка однородности изучаемых статистических характеристик временных рядов речного стока р. Волги выполнена на основе критериев Стьюдента, Фишера, Дурбина-Ватсона, Андерсона, Бартлетта. Оценка однородности дисперсий временных рядов с использованием критерия Фишера показала, что при 1%-ном уровне значимости критерия сток р. Волги за выделенные периоды относится к категории однородных по дисперсии. Гипотеза однородности выборочных дисперсий в этой проверке не отвергается, поскольку определяемая по сопоставляемым рядам статистика Фишера $F_{\text{расч.}} = 1,03$ оказывается менее значимой по сравнению с критической ее величиной для рассматриваемых условий $F_{\text{кр}} = 2,42$.

Проверка по критерию Стьюдента выявила обратную картину. Оценка однородности средних значений рассматриваемых рядов стока р. Волги показала, что при 1%-ном уровне значимости критерия годовой сток р. Волги за выбранные периоды неоднороден во времени. Расчетное значение критерия Стьюдента превышает его критическое значение ($t_{\text{расч.}} = 4,0$; $t_{\text{кр}} = 3,50$). Поскольку критерий Стьюдента является более информативным, то в целом сравниваемые ряды следует считать статистически неоднородными.

В подобных условиях объединение всех имеющихся материалов наблюдений за стоком р. Волги у г. Волгограда в один ряд не может считаться корректным. Получаемые на такой основе статистические решения не будут отличаться высокой устойчивостью. В этом случае необходимо применять иные подходы для нахождения надежных статистических оценок. Наиболее приемлемым способом получения решений здесь может явиться переход к использованию концепции квазистационарности протекания гидрологических процессов, то есть концепции об устойчивом их протекании лишь на довольно ограниченных отрезках времени.

Для реализации указанного подхода имеющиеся натурные данные в рассматриваемом примере, как отмечено выше, были подразделены на две группы. Одна группа относилась к относительно маловодному периоду, закончившемуся в 1976 г., другая – к сравнительно многоводному периоду, начавшемуся с 1977 г. Для статистических характеристик этих периодов по имеющимся материалам наблюдений были определены ординаты отдельной функции обеспеченности годового притока речных вод реки Волги у г. Волгограда (табл. 2). Как следует из таблицы 2, приведенные ординаты этих функций различаются между собой. Расхождения в оценках по ним, особенно в зоне больших обеспеченностей, достигают 20-32%.

Полученные функции обеспеченности могут быть использованы для выполнения вероятностных оценок притока речных вод р. Волги. При реализации такой схемы расчетов, естественно, возникает вопрос о возможностях распространения

Таблица 2. Оценка годового стока реки Волги (в створе – г. Волгоград) различной обеспеченности для маловодного и многоводного периодов

Table 2. Assessment of the annual runoff of the Volga River (in the alignment – city of Volgograd) of different provision for low water and high water periods

Обеспеченность, % Water provision	Годовой сток, км ³ /год / Annual runoff, km ³ /year		Расхождения в оценках / Discrepancies in assessments	
	Маловодный период (1914-1976 гг.) Low water period	Многоводный период (1977-2014 гг.) Highwater period	км ³ /год km ³ /year	%
1%	348	362	14	4
3%	323	343	20	6
5%	310	333	23	7
10%	291	318	27	8
25%	261	294	33	11
50%	230	270	40	15
75%	201	247	46	19
80%	195	242	47	19
85%	188	236	48	20
90%	178	228	50	22
95%	166	217	51	23
97%	157	213	56	26
99%	143	197	54	27
99,9%	120	177	57	32

сферы действия функции обеспеченности многоводного периода на более длительный период. Становится очевидным, что решение подобного рода вопроса должно опираться на основу выявления причинно-следственных связей в системе формирования гидрологических процессов и прогнозирования тенденций их развития. Задача получения вероятностных оценок в рассматриваемом примере может быть решена с использованием вышеуказанного способа, то есть динамико-стохастического уравнения $W(t, p) = m(t) + \Delta W(p)$.

Выводы

1. Исследования показали, что в исходных временных рядах годовых величин притока речных вод р. Волги у г. Волгограда (1914/1915-2014/2015 гг. и 1881/1882-1994/1995 гг.) имеются периоды разной длительности, статистические характеристики которых выходят за пределы доверительных интервалов.

2. На основании полученных результатов исследований полагаем, что величины годовых объемов притока речных вод р. Волги не являются чисто случайными величинами. Отсюда следует, что развитие гидрологических процессов в бассейне р. Волги можно определить как процессы,

в которых детерминированные изменения элементов сочетаются со случайными колебаниями.

3. Для отражения характера развития гидрологических процессов в бассейне р. Волги рекомендуется применять динамико-стохастическую модель изменения речного стока бассейна р. Волги. Модель будет учитывать детерминированную составляющую, жестко привязанную ко времени. Стохастическая составляющая данной модели представляет собой случайное отклонение элементов в каждый конкретный момент времени от их математического ожидания.

4. Определение детерминированной составляющей выполняется на базе изучения закономерностей развития природных процессов, и прежде всего – особенностей формирования климата и речного стока. Что же касается случайных колебаний водности, то для описания их характера могут быть использованы натурные данные гидрологических наблюдений.

5. Вместе с существующей в настоящее время концепцией стационарности в многолетних колебаниях речного стока выступает альтернативная концепция нестационарности, связанная с антропогенно-обусловленным глобальным потеплением климата.

Список использованных источников

1. Алексеевский Н.И. Закономерности гидрологических процессов. М.: Изд-во ГЕОС, 2012. 733 с.
2. Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. М.: Наука, 1974. 69 с.
3. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. М.: Институт водных проблем РАН. 2009. 210 с.

References

1. Alekseevskij N.I. Zakonomernosti gidrologicheskikh protsessov. M.: Izdatelstvo GEOS, 2012. 733 s.
2. Blyuhinov E.G. Raspredeleniya veroyatnostej velichin rechnogo stoka. M.: Nauka, 1974. 169 s.
3. Bolgov M.V., Sarmanov I.O., Sarmanov O.V. Markovskie protsessy v gidrologii. M.: Institut vodnyh problem RAN, 2009. 210 s.

4. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
5. **Кучмент Л.С., Гельфан А.Н.** Динамико-стохастические модели формирования речного стока. М.: Наука, 1993. 103 с.
6. **Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я.** Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 84 с.
7. **Раткович Д.Я.** Многолетние колебания речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 255 с.
8. **Раткович Л.Д.** Моделирование взаимозависимых гидрологических рядов // Природобустройство. 2012. № 2. С. 55-59.
9. **Рождественский А.В., Чеботарев А.И.** Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.
10. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка изменения и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги в условиях изменения климата // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 5. С. 4-17.
11. Водные ресурсы России и их использование. / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
12. **Исмайылова И.Г., Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Методика оценки сложноформируемых элементов водного баланса (суммарного испарения и влагозапасов) речного бассейна // Природобустройство. 2020. № 5. С. 88-95.
13. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** К теории и методологии формирования элементов водного баланса речного бассейна в условиях меняющегося климата // Экология. Экономика. Информатика: сборник статей: В 2 т. Т. 1. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Ростов н/Д: Изд-во ЮИЦ РАН, 2016. С. 615-628.
14. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка динамики водных ресурсов бассейна реки Оки в современных климатических условиях // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». Севастополь, 2019. С. 704-708.
15. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Анализ и оценка поверхностных водных ресурсов бассейна реки Оки // Природобустройство. 2019. № 5. С. 85-90.
16. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна реки Дон // Природобустройство. 2012. № 1. С. 52-56.
17. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка изменчивости элементов водного баланса половодья и межени бассейна реки Волги // Природобустройство. 2012. № 3. С. 64-69.
18. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка речного стока в бассейне р. Волги // Природобустройство. 2014. № 2. С. 65-69.

Критерии авторства

Исмайылова И.Г., Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 12.12.2022

Одобрена после рецензирования 09.01.2023

Принята к публикации 12.01.2023

4. **Kritskij S.N., Menkel M.F.** Hidrologicheskie osnovy upravleniya rechnym stokom. M.: Nauka, 1981. 255 s.

5. **Kuchment L.S., Gelfan, A.N.** Dinamika-stohasticheskie modeli formirovaniya rechnogo stoka. M.: Nauka, 1993. 103 s.

6. **Muzylev S.V., Privalskij V.E., Ratkovich D.Ya.** Stohasticheskie modeli v inzhenernoj gidrologii. M.: Nauka, 1982. 184 s.

7. **Ratkovich D.Ya.** Mnogoletnie kolebaniya rechnogo stoka. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 255 s.

8. **Ratkovich L.D.** Modelirovanie vzaimozavisimyh gidrologicheskikh ryadov // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 2. S. 55-59.

9. **Rozhdestvenskij A.V., Chebotarev A.I.** Statisticheskie metody v gidrologii. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 424 s.

10. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka izmeneniya i vzaimosvyaz elementov vodnogo balansa bassejna reki Volgi v usloviyah izmeneniya klimata // Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2015. № 5. S. 4-17.

11. Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovanie / Pod redaktsiej I.A. Shiklomanova. SPb.: Gosudarstvennyj gidrologicheskij institut, 2008. 600 s.

12. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V., Ismajylova I.G.** Metodika otsenki slozhnoformiruemykh elementov vodnogo balansa (summarnogo isparenija i vlagozapaso) rechnogo bassejna // Prirodoobustrojstvo. 2020. № 5. S. 88-95.

13. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** K teorii i metodologii formirovaniya elementov vodnogo balansa rechnogo bassejna v usloviyah menyayushchegosya klimata // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Sb. statej: v 2-h t. T. 1: Sistemnyj analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem. Vyp. 1. Rostov n/D: Izd-vo YUNTS RAN. 2016. S. 615-628.

14. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka dinamiki vodnykh resursov bassejna reki Oki v sovremennykh klimaticheskikh usloviyah // Sbornik statej po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' 2019». Sevastopol. S. 704-708.

15. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Analiz i otsenka poverhnostnykh vodnykh resursov bassejna reki Oki // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 5. S. 85-90.

16. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Mezhdogodovaya izmenchivost elementov vodnogo balansa bassejna reki Don // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 1. S. 52-56.

17. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka izmenchivosti elementov vodnogo balansa polovodija i mezheni bassejna reki Volgi // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 3. S. 64-69.

18. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka rechnogo stoka v bassejne r. Volgi // Prirodoobustrojstvo. 2014. № 2. S. 65-69.

Criteria of authorship

Ismajylova I.G., Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors.

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 12.12.2022

Approved after reviewing 09.01.2023

Accepted for publication 12.01.2023

Оригинальная статья

УДК 627.157: 002.637 (282.247.41)

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-89-94



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ФОРМАМ СУЩЕСТВОВАНИЯ И ИХ СОДЕРЖАНИЕ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПЛЕСОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Толкачев Глеб Юрьевич , канд. геогр. наук, старший научный сотрудник
k-26@yandex.ru

Корженевский Борис Игоревич, канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник
542609@list.ru

Коломийцев Николай Владимирович , канд. геол.-мин. наук, заведующий отделом
kolomiytsev@vniigim.ru

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

Аннотация. Целью исследований является изучение загрязнения донных отложений плесов Иваньковского водохранилища тяжелыми металлами. Эти отложения водных объектов являются достаточно чувствительными индикаторами их загрязнения. Наиболее неблагоприятными загрязнителями представляются следующие металлы и микроэлементы: As, Cd, Hg, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni. По данным исследований, проведенных в 2021 г., рассмотрены тенденции изменения загрязнений донных отложений Иваньковского водохранилища. Определено содержание подвижных форм существования следующих микроэлементов: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni и As. Содержание микроэлементов по формам существования определено методом А. Тессье, результаты исследований приведены в соответствии с оценкой по игео-классам – по загрязненности сорбирующей фракции (менее 0,02 мм). Основными загрязняющими элементами в подвижных формах донных отложений водохранилища являются кадмий и свинец, по которым уровень загрязнения оценивается в пределах второго игео-класса: от слабо- до умеренно загрязненного. Представлена картина как загрязнения донных отложений Иваньковского водохранилища микроэлементами, так и распределения и соотношения их подвижных форм существования в отложениях. Такие элементы, как Pb, Zn и Cr, находятся в основном в форме, связанной с гидроксидами железа и марганца; Co, Cd, Ni, Cr и Cu – большей частью в ионообменной и карбонатной формах. На основании полученных данных в настоящее время нагрузка на изученные объекты не является опасной. Полученные результаты представляют научный и практический интерес для организаций геоэкологической направленности, для специалистов в области охраны окружающей среды и природообустройства.

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, загрязнение, подвижные формы, игеокласс, сорбирующая фракция, водохранилище

Формат цитирования: Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В. Распределение тяжелых металлов по формам существования и их содержание в донных отложениях плесов Иваньковского водохранилища // Природообустройство. 2023. № 1. С. 89-94. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-89-94.

© Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., 2023

Original article

DISTRIBUTION OF HEAVY METALS BY FORMS OF EXISTENCE AND THEIR CONTENT IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE REACH OF THE IVANKOVSKY RESERVOIR

Tolkachev Gleb Yurjevich , candidate of geographic sciences, senior researcher
k-26@yandex.ru

Korzhenevskiy Boris Igorevich, candidate of geological-mineralogical sciences, senior researcher
542609@list.ru

Kolomiytsev Nikolay Vladimirovich ✉, candidate of geological-mineralogical sciences, head of department

kolomiytsev@vniigim.ru

All-Russian research Institute of hydraulic engineering and melioration named after A.N. Kostyakov», 127434, Moscow, B. Academicheskaya, 44, korp.2, Russian Federation

Annotation. The purpose of the research is to study the contamination of the bottom sediments of the Ivankovsky reservoir with heavy metals. These deposits of water bodies are quite sensitive indicators of their pollution. The most unfavorable pollutants are the following metals and trace elements: As, Cd, Hg, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni. According to the data of the work carried out in 2021, the trends in changes in the pollution of the bottom sediments of the Ivankovsky reservoir are considered. The content of mobile forms of existence of the following microelements was determined: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni and As. The content of trace elements by forms of existence was determined by the method of A. Tessier, the results of the studies are given in accordance with the assessment by igeo-classes – by the contamination of the sorbent fraction (less than 0.02 mm). The main polluting elements in the mobile forms of the bottom sediments of the reservoir are cadmium and lead, for which the level of pollution is estimated within the 2nd igeo-class – from weakly to moderately polluted. A picture of both the contamination of the bottom sediments of the Ivankovsky reservoir with trace elements, and the distribution and ratio of their mobile forms of existence in the sediments is presented. Elements such as Pb, Zn and Cr are mainly in a form bound to iron and manganese hydroxides; Co, Cd, Ni, Cr and Cu are mostly in ion exchange and carbonate forms. Based on the data obtained, at present, the load on the studied objects is not dangerous. The obtained results are of scientific and practical interest for organizations of geo-ecological orientation, for specialists in the field of environmental protection and nature management.

Keywords: bottom sediments, heavy metals, pollution, mobile forms, sorption fraction, igeo-class, reservoir

Format of citation: Tolkachev G.Y., Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.V. Distribution of heavy metals by forms of existence and their content in the bottom sediments of the reach of the Ivankovsky reservoir // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 1. S. 89-94. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-89-94.

Введение. Создание новых водохранилищ является толчком к возникновению нового взаимодействия водных масс и донных отложений (ДО), которые обусловлены значительным изменением существовавших в режиме неподпруженной реки гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик. ДО новой гидроморфологической структуры играют двунаправленную роль, будучи как накопителем загрязнителей, так и источником их вброса в водную толщу. Характеристики состава ДО указывают и на неблагоприятные в геоэкологическом отношении участки и на условно «чистые» участки. Совокупность природных и антропогенных факторов обуславливает особенности миграции загрязнителей между твердой и жидкой компонентами водного объекта. Несмотря на то, что Ивановское водохранилище является одним из источников поступления пресной воды в г. Москву, оно продолжает подвергаться определенному антропогенному прессу, вызванному масштабным освоением водосборных площадей. Изучалось загрязнение ДО тяжелыми металлами и элементами первого и второго классов опасности, а также Se и Sb.

Валовое содержание ТМ является важным показателем, но оно не указывает на риск

проявления токсических эффектов при вторичном загрязнении водных масс. Большинство исследований, посвященных частицам металлов в природных водных системах (то есть металлам, связанным с взвешенными веществами или донными отложениями), касается общей концентрации металлов. При этом явно недостаточно оценивались их содержание и распределение по формам существования в ДО. Использование общей концентрации в качестве критерия для оценки потенциальных последствий загрязнения отложений подразумевает, что все формы данного металла оказывают равное воздействие на окружающую среду [1]. Однако данное предположение является некорректным. При определении форм существования твердый материал отложений может быть подразделен на определенные фракции, которые могут быть извлечены избирательно с использованием соответствующих реагентов.

Материалы и методы исследований.

Ивановское водохранилище было создано в 1937 г. в результате перекрытия русла р. Волги у села Иваново плотиной гидроэлектростанции. Протяженность водного пути от г. Твери до г. Дубна составляет 115 км, площадь водохранилища – 327 км², площадь водосбора – 4100 км² [2].

В процессе обследований 2021 г. пробы отбирались из поверхностного слоя ДО. Все изученные образцы состоят из близких по минеральному составу компонентов, что позволяет считать результаты сравнительной оценки сопоставимыми. Проба весом 300-500 г после отбора грейфером помещалась в широкогорлую пластиковую посуду, гомогенизировалась и распределялась по пакетам для исследований. Для упаковки проб ДО использовались полиэтиленовые пищевые пакеты, далее выделялась мокрым просеиванием «сорбирующая фракция» размером менее 0,020 мм. Эта фракция практически полностью состоит из высокодисперсных глинистых минералов, оксидов Fe и Mn, органического вещества, обладающего максимальными сорбционными свойствами [3]. Для корректировки результатов анализов определяли гигроскопическую влажность воздушно-сухих образцов.

Аккумуляция ТМ в ДО оценивалась с помощью «индекса геоаккумуляции» [4], который характеризует относительную кратность загрязнения ДО относительно природного фона [5-6]. ДО подразделяются на классы качества по каждому микроэлементу, где фоновое значение представлено с определенным запасом [7].

При определении распределения микроэлементов в компонентах ДО особое внимание уделялось выбору фракций, на которые могут повлиять различные условия окружающей среды; были выбраны четыре экстракции по методу А. Тессье [8]. Использование последовательных экстракций дает детальную информацию о происхождении, способе появления, биологической и физико-химической доступности, иммобилизации и транспорте микроэлементов.

Экстракция 1 – это микроэлементы в обменном комплексе. Адсорбция микроэлементов на их основных компонентах ДО (глинах, гидратированных оксидах железа и марганца, гуминовых кислотах); изменения ионного состава воды в водных объектах влияют на процессы сорбции-десорбции.

Экстракция 2 – микроэлементы, связанные с карбонатами. Значительные концентрации металлов могут быть связаны с карбонатами осадка; эта фракция весьма восприимчива к изменениям pH.

Экстракция 3 – ТМ, связанные с оксидами железа и марганца. Оксиды железа и марганца существуют в виде конкреций, цементных образований между частицами или просто в виде покрытия на частицах. Они являются поглотителями микроэлементов и термодинамически нестабильны в анаэробных условиях – при низком Eh.

Экстракция 4 – ТМ, связанные с органическим веществом ДО. ТМ связаны с различными формами органического вещества: живыми

организмами, детритом, покрытиями на минеральных частицах. В условиях окисления в природных водах органическое вещество может разлагаться, что приводит к выделению растворимых микроэлементов.

Определение концентраций микроэлементов в растворе проводилось на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-З.ЭТА-Т» (НПО «КОРТЭК», г. Москва). Атомно-абсорбционный спектрометр «КВАНТ-З.ЭТА-Т» определяет концентрации элементов в анализируемой пробе по селективному поглощению излучения резонансных спектральных линий определяемого элемента атомным паром анализируемой пробы [9]. Стандартная ошибка разведения составляет 2%. Стандартная ошибка прибора составила 0,3-5% [10]. Определение каждой концентрации растворов производилось в 3-кратной повторности.

Результаты и их обсуждение. Распределение содержания некоторых микроэлементов по формам существования, или подвижным формам, в изученных районах водохранилища приведено в таблице 1. Точки отбора № 35, 34, 33 расположены в пределах Волжского плеса напротив с. Городня, д. Мелково и д. Плоски – сверху вниз по течению. Точка № 37 расположена в Шопинском плесе между автомагистралями. Точки 40, 41, 45, 48 расположены соответственно напротив урочища Корчева, острова Уходово, Коровинского залива и входа в канал им. Москвы. На рисунке 1 представлено процентное распределение элементов первого класса опасности в подвижных формах, что в свою очередь наглядно отражает соотношение данных форм и дает возможность

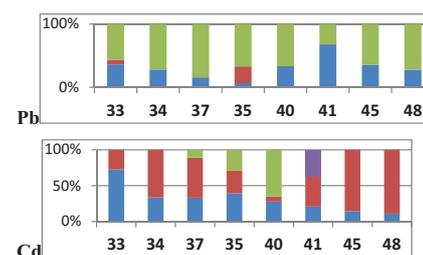


Рис. 1. Процентное распределение подвижных форм свинца и кадмия в ДО исследуемых районов Ивановского водохранилища:

- – в обменном комплексе;
 - – связанные с карбонатами;
 - – связанные с оксидами железа и марганца;
 - – связанные с органическим веществом
- Fig. 1. Percentage distribution of mobile forms of lead and cadmium in BS in the studied areas of the Ivankovsky reservoir:
- – in the exchange complex;
 - – bound with carbonates;
 - – bound with oxides of iron and manganese;
 - – bound with organic matter

оценить зависимость их распределения от района исследуемого объекта.

Как следует из таблицы 1, одна из основных форм As – сорбированная в обменном комплексе, как правило, – в ДО Иваньковского плеса. В ДО Волжского и Шошинского плесов, а также в районе Коровинского залива значительная часть As сорбирована на гидроксидах Fe и Mn. В верховьях Иваньковского водохранилища, в районе с. Городня, подавляющая часть As (80%) представлена формой, сорбированной на карбонатах, что может, в частности, объясняться активным смывом почв с левого берега с их последующей трансформацией в ДО. Что касается Cd, его «обменная» составляющая снижается от истоков к дамбе. С другой стороны, «карбонатная» форма в районе дамбы становится преобладающей.

В районе урочища (ур.) Корчева более 60% Cd находится в «гидроксидной» форме, что может объясняться болотистыми берегами с привносом железа. Металлы Pb и Zn связаны в основном с «гидроксидной» формой на значительной площади водохранилища, за исключением участка от островов Клиницы и Уходово до Коровинского залива, на котором от 40 до 60% составляет ионообменная форма. Основная форма

существования в ДО Co и Ni – «карбонатная», она составляет до 80-90% для Co и 50-60% для Ni, за исключением Шошинского плеса и входа в канал им. Москвы, где формы Co, связанные с гидроксидами, составляют 90% для первого и 60% – для второго. В свою очередь, вторая определяющая форма для Ni является «обменной».

Таким образом, подвижная фаза Ni практически целиком находится в наиболее доступной фазе, более подверженной распаду с последующим выходом металла в водную массу при изменении гидрохимической обстановки. Содержание Cu в большинстве исследованных районов также находится в основном в «обменной» и «карбонатной» формах, и порядка 30-40% – в «гидроксидной». И только в районе острова Уходово «гидроксидная» форма составляет 80% всей суммы подвижных соединений. Также на гидроксидах железа и марганца сорбировано большинство (70-90%) содержания подвижного Cr.

Для оценки потенциального вторичного загрязнения рассчитаны суммы подвижных соединений микроэлементов исходя из возможности их полного выхода из отложений и оценены по системе игео классов; значения приведены в таблице 2. Наибольший уровень загрязнения

Таблица 1. Концентрации микроэлементов первого класса опасности по формам существования в ДО, мг/кг

Table 1. Concentrations of trace elements of the first hazard class by forms of existence in BS, mg / kg

№ точки отбора No of sampling points	Сорбированные в обменном комплексе Sorbed in the exchange complex				Сорбированные на гидроксидах железа и марганца Sorbed on iron and manganese hydroxides			
	As	Cd	Pb	Zn	As	Cd	Pb	Zn
33	0,6	1,0	29,8	14,0	0,84	-	46,4	48,6
34	1,0	0,6	21,8	10,0	1,16	-	55,6	43,8
37	0,6	0,6	16,0	6,0	0,48	0,20	84,8	55,2
35	0,2	1,0	6,0	6,0	-	0,72	60,2	37,2
40	1,0	0,8	24,0	12,0	-	1,88	47,8	20,4
41	1,4	0,2	22,0	10,0	-	-	10,4	18,8
45	0,2	0,2	14,0	8,0	0,52	-	25,4	9,8
48	0,4	0,2	12,0	6,0	-	-	31,0	9,8

Таблица 2. Суммы подвижных форм существования микроэлементов (числитель, мг/кг) и их значения в игео-классах (знаменатель)

Table 2. Sums of mobile forms of existence of trace elements (numerator, mg/kg) and their values in igeo-classes (denominator)

Т. отбора P. of sampling	As	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Co	Ni
33	1,44/ф	1,38/2	82,2/2	64,4/ф	75,2/1	4,84/ф	2,06/ф	64,4/ф
34	2,16/ф	1,78/2	77,4/2	53,8/ф	79,0/1	4,04/ф	1,88/ф	65,6/ф
37	1,60/ф	1,80/2	100,8/2	61,2/ф	82,8/1	4,6/ф	2,52/ф	73,2/0
35	1,00/ф	2,52/3	90,0/2	43,2/ф	108,8/1	3,24/ф	2,26/ф	68,4/0
40	1,28/ф	2,88/3	71,8/2	32,4/ф	75,4/1	2,42/ф	1,80/ф	62,0/ф
41	1,40/ф	0,96/2	32,2/1	28,8/ф	124,4/1	2,16/ф	0,80/ф	77,6/0
45	0,72/ф	1,40/2	39,4/1	17,8/ф	75,0/1	1,34/ф	1,18/ф	62,2/ф
48	0,40/ф	1,80/2	43,0/1	17,8/ф	85,8/1	1,34/ф	1,08/ф	64,4/ф

ДО отмечен для Cd – 3 и гео класс в районе с. Гордня на входе в водохранилище и Ивановском плесе в районе ур. Корчева. В других изученных районах суммарное содержание Cd в подвижных формах ДО соответствует 2 и гео классу. Согласно классификации [4] 3 и гео класс соответствует средне загрязненному уровню, 2 и гео класс – умеренно загрязненному уровню. Согласно классификации [3] оба эти класса соответствуют умеренной (умеренно опасной) техногенной нагрузке. Содержание Pb от с. Гордня до ур. Корчева находится на уровне 2 и гео класса. Далее по течению, вплоть до канала им. Москвы, содержание Pb снижается до 1 и гео класса, что соответствует «незагрязненному до умеренно загрязненного» уровню загрязнения [4] и слабой (малоопасной) техногенной нагрузке [3]. Содержание Cu по всей площади водохранилища находится на уровне 1 и гео класса. Содержание всех остальных изученных элементов находится либо в пределах фона, либо не превышают нулевой и гео класса – это незагрязненный уровень.

В предыдущих исследованиях был сделан вывод о том, что именно изменение содержания ТМ в подвижных формах способствует изменению их валового содержания в ДО [11, 12]. Необходимо подчеркнуть, что все подвижные формы существования ТМ в ДО могут участвовать в процессах массопереноса в системе «Твердая фаза – поровый раствор – вода», а их содержание зависит от ряда факторов: меняющегося соотношения приходной и расходной составляющих баланса веществ, гидродинамической обстановки в придонном слое, физико-химических условий в верхнем 10-сантиметровом слое ДО [12]. Возможный

вынос микроэлементов из ДО не будет превышать их суммарные концентрации в подвижных соединениях. На основании полученных данных говорить о том, что в настоящее время техногенная нагрузка на изученные объекты не является опасной.

Выводы

1. Установлено, что по всей площади измерений Pb, Zn и Cr находятся в основном в форме, связанной с гидроксидами железа и марганца; Co, Cd, Ni, Cr и Cu находятся в ионообменной и карбонатной формах. Содержание и распределение микроэлементов по формам существования зависят от меняющегося соотношения приходной и расходной составляющих баланса веществ, гидродинамической обстановки в придонном слое, физико-химических условий в верхнем слое ДО.

2. Отмечены наибольшие уровни загрязнения ДО водохранилища суммарными концентрациями подвижных соединений Cd и Pb, которые, однако, не превышают 2 и гео класса, или «умеренно загрязненного» уровня. Возможный вынос микроэлементов из ДО не будет превышать данные концентрации, поэтому о серьезной опасности вторичного загрязнения исследуемыми элементами говорить не приходится.

3. В настоящее время не выявлены четкие пространственные закономерности распределения микроэлементов по формам существования в ДО водохранилища. Вместе с тем, исходя из полученных данных, можно говорить об отсутствии значительного поступления приведенных в работе элементов с водосборной площади водохранилища.

Список использованных источников

1. Моржухина С.В. Геохимическая оценка загрязнения малых рек (на примере реки Сестра Московской области): Дис. ... канд. хим. наук. Дубна, 2000. 108 с.
2. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука, 1987. 296 с.
3. Колومیтцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Гетьман Е.Н. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 15-19.
4. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungenseit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. S. 778-783.
5. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.
6. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. Pp. 175-192.
7. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 223 с.

References

1. Morzhuhina S.V. Geohimicheskaya otsenka zagryazneniya malyh rek (na primere reki Sestra Moskovskoj oblasti). Diss. na soisk. uch. st. kand. him. nauk. – Dubna: 2000. – 108 s. 1.
2. Avakyan A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Vodohranilishcha i ih vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu. M.: Nauka. 1987. 296 s.
3. Kolomiytsev N.V. Otsenka tekhnogennoj nagruzki na vodnye objekty po zagryaznennosti donnyh otlozhenij / Korzhenevskiy B.I., Ijina T.A., Getman E.N. // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. 2015. № 6. S. 15-19.
4. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. S. 778-783.
5. Vinogradov A.P. Geohimiya redkih i rasseyannyh elementov v pochvah. M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. 235 s.
6. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. R. 175-192.
7. Modelirovanie erozionnyh protsessov na territorii malogo vodosbornogo bassejna / Pod red. A.S. Kerzhentseva, R. Majsnera. – M.: Nauka, 2006. 223 s. ISBN5-02-034205-X

8. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // Analytical chemistry. 1979. Vol. 51. № 7. Pp. 844-851.

9. Руководство по эксплуатации. Спектрометр атомно-адсорбционный «КВАНТ-Z.ЭТА-Т». М.: Научно-производственная фирма Кортэк, 2006. 20 с.

10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. 320 с.

11. Толкачёв Г.Ю. Тяжелые металлы в системе «Вода–донные отложения». Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 98 с.

12. Толкачёв Г.Ю., Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И. Содержание и формы существования тяжелых металлов в донных отложениях Иваньковского и Угличского водохранилищ // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 4. С. 37-43.

Критерии авторства

Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Коломийцев Н.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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 06.11.2022

Одобрена после рецензирования 12.12.2022

Принята к публикации 25.12.2022

8. Tessier A., Campbell P.G. C., Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // Analytical chemistry. 1979. Vol. 51. No 7. P. 844-851.

9. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Spektrometr atomno-adsorbtsionnyj «KVANT – Z.ETA – T». M.: Nauchno-proizvodstvennaya firma Kortek, 2006. 20 s.

10. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M.: MGU, 1995. 320 s.

11. Tolkachyev G.Yu. Tyazhyolye metally v sisteme «voda – donnye otlozheniya». Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 98 s.

12. Tolkachyev G.Yu., Kolomiytsev N.V., Korzhenevskiy B.I. Soderzhanie i formy sushchestvovaniya tyazhelyh metallov v donnyh otlozheniyah Ivankovskogo i Uglichskogo vodohranilishch // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. 2017. № 4. S. 37-43.

Criteria of authorship

Tolkachev G.Y., Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.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.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

The article was submitted to the editorial office 06.11.2022

Approved after reviewing 12.12.2022

Accepted for publication 25.12.2022

Оригинальная статья

УДК 556.388:628.394

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-95-101



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Карпенко Нина Петровна^{1✉}, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник

SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; npkarpenko@yandex.ru

Ширяева Маргарита Александровна², младший научный сотрудник

SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861; Shiryaeva.MA@fncg.ru

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

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

Аннотация. Представлены результаты обоснования размещения техногенной нагрузки под влиянием нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов на территории водосборной площади реки Кама с использованием ГИС-технологий. В основу обоснования положены карты защищенности грунтовых вод. В ходе исследования осуществлен анализ методов, позволяющих оценить степень естественной защищенности грунтовых вод. Также были рассчитаны показатели, которые дают качественную и количественную оценку с использованием разных категорий защищенности районов муниципального образования Пермского края. Проведены исследования в лабораторных условиях на содержание химических элементов, поступающих в поверхностные и подземные воды на территории Пермского края со стоками от нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий. По карте размещения техногенной нагрузки выявлены основные районы повышенного уровня загрязнения, которые соответствуют нефтедобывающим и нефтеперерабатывающим центрам Пермского края. По результатам к таким территориям были отнесены Березнико-Соликамский, Чайковский, Пермско-Краснокамский, Кунгурский, Лысьвинский, Чусовской, Кизеловско-Губахинский нефтепромышленные комплексы.

Ключевые слова: техногенная нагрузка, нефтедобывающая промышленность, нефтеперерабатывающий комплекс, защищенность грунтовых вод, ГИС-технологии, экологическая безопасность

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 95-101. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-95-101.

© Карпенко Н.П., Ширяева М.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OIL PRODUCTION ON THE QUALITY OF WATER BODIES OF THE PERM TERRITORY USING GIS TECHNOLOGIES

Karpenko Nina Petrovna^{1✉}, doctor of technical sciences, leading researcher

SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; npkarpenko@yandex.ru

Shiryaeva Margarita Alexandrovna², junior research assistant

SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861; Shiryaeva.MA@fncg.ru

¹ All-Russian research institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyukov 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya street, 44, bld. 2, Russia

² The Federal Research Centre for Hygiene named after F.F. Erisman of Rosпотребнадзор, Mytishchi, Russian Federation

Annotation. The results of substantiation of the placement of technogenic load under the influence of oil-producing and oil-refining complexes on the territory of the catchment area of the Kama River using GIS technologies are presented. The justification is based on maps of groundwater vulnerability. The research involved an analysis of methods to assess the natural groundwater vulnerability, as well as the calculation of indicators allowing a qualitative and quantitative assessment using different vulnerability categories of municipal areas of the Perm Kray. Investigations were carried out

under laboratory conditions on the content of chemical elements entering surface and ground waters in the territory of the Perm Krai with runoff from oil production and oil industry enterprises. The main areas of high contamination have been identified on the technogenic exposure map. The areas correspond to the oil producing and refining centers of the Perm Krai. According to the results, Berezniko-Solikamsky, Chaikovskiy, Perm-Krasnokamsky, Kungursky, Lysvinsky, Chusovskoy, Kizelovskiy-Gubakhinsky oil industry complexes have been assigned to such areas.

Keywords: *technogenic impact, oil industry, oil refining complex, groundwater protection, GIS technologies, environmental safety*

Format of citation: *Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Assessment of the impact of oil production on the quality of water bodies of the Perm Territory using GIS technologies // Prirodoobustroystvo. 2023. No.1. S. 95-101. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-95-101.*

Введение. По данным исследований [1, 2], в последние годы все больше становится масштабным загрязнение поверхностных и подземных вод различными органическими высокотоксичными веществами. Загрязнение вод нефтепродуктами и их производными обращает на себя особое внимание, так как нефтепромысел, нефтепереработка, нефтехимический комплекс являются одними из лидирующих загрязнителей по степени воздействия на компоненты окружающей среды. Актуальность проблемы загрязнения нефтепродуктами, фенолами, бенз(а)пиреном и другими органическими высокотоксичными и поверхностно-активными веществами в Пермском крае объясняется наличием большого количества потенциальных источников загрязнения, а именно нефтяных предприятий, включающих в себя нефтедобычу и нефтепереработку.

Зафиксированы официальные источники сброса сточных вод, которые представляют собой высокую опасность для водных объектов Пермского края. Шламонакопители, места хранения отходов, накопление нефтепродуктов, утечки, аварийные разливы являются следствием загрязнения почв и грунтов органическими поллютантами [2].

Известно, что самые высокие техногенные нагрузки возникают в водных объектах, прилегающих к территории нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов. Нефтеперерабатывающие комплексы производят стоки, загрязненные нефтью, сероводородом, сернистым аммонием, фенолом, сульфатами, ароматическими углеводородами, жирными кислотами [3].

Сбросы в поверхностные водные источники оказывают негативное влияние на качество воды, санитарные условия и водопользование населения. Нефть и продукты ее переработки загрязняют водоемы, расположенные на значительном расстоянии от места сброса сточных вод (иногда за сотни километров). Сточные воды являются источником загрязнения и повышения уровня грунтовых вод ввиду утечек из очистных сооружений и взаимосвязанных труб канализационной сети. Отсутствие дренажа вокруг участка

и отсутствие организованного отвода грунтовых вод с участка, особенно на склонах, также способствуют распространению загрязнения грунтовых и поверхностных вод не только в пределах участка, но и за его пределами [3].

Негативные последствия, вызванные экстенсивной антропогенной и техногенной нагрузкой, отражаются на всех компонентах природной среды.

Известно, что подземные воды достаточно хорошо защищены от высокого уровня загрязнения различными поллютантами. Поверхностные воды являются недостаточно хорошо защищенными объектами в связи с близостью к поверхности и источнику загрязнения. Несмотря на то, что водоносные горизонты перекрыты толщей слабопроницаемых пород, иногда толщина может являться водопроницаемой и имеет незначительную мощность. Это может стать причиной быстрого проникновения поллютантов в водоносный горизонт [4, 5].

Материалы и методы исследований. Пермский край отличается от многих регионов страны богатой сырьевой базой. Несмотря на то, что минерально-сырьевые запасы оцениваются как средние, исследуемый регион обладает высоким качеством сырья. Основные объекты нефтепромысла Пермского края расположены в Соликамске, Нефтекамске, Куединском районе, Березниках.

Правобережная часть р. Камы и ее притоков характеризуется интенсивным выходом нефтепродуктов с подземными водами в период летней межени. На территории водосбора р. Камы в Пермском крае располагаются крупные нефтяные месторождения.

Для оценки влияния нефтеперерабатывающих предприятий на качественный состав водных объектов было изучено химическое и гигиеническое состояние рек Кама, Чусовая, Вишера и подземных вод, протекающих в районе расположения промышленных предприятий. Выбор этих водотоков обусловлен тем, что реки протекают по территории промышленной зоны нефтеперерабатывающего комплекса.

Оценка загрязнения воды поверхностных водоемов производилась по следующим показателям: кислород, БПК₅, хлориды, сульфаты (SO₄), аммоний-ион (NH₄⁺), нитриты (NO₂), нитраты (NO₃), железо общее, медь, цинк, никель, марганец, фенолы (летучие), нефть и нефтепродукты, ароматические углеводороды (ПАУ). Наблюдение за химическим составом грунтовых вод проводилось по показателям: водородный показатель (рН), общая минерализация, жесткость общая, окисляемость перманганатная, нефтепродукты (суммарно), фенол, формальдегид, бенз(а)пирен, хлориды, сульфаты, нитраты, нитриты, фторид-ион (F), бензойная кислота, железо (Fe_{общ}), кальций, магний, цинк, хром, кадмий, марганец, ртуть, свинец, медь, никель.

Карты защищенности грунтовых вод строились на основе получения геологических, литологических, гидрогеологических и гидрологических данных. Производился синтез (наложение слоев) карт с помощью геоинформационных систем (ГИС), а именно QGIS3.22 с разработанным модулем Python по синтезированию смежных карт. После соединения слоев и оценки нагрузки на каждый район исследуемой территории строится карта техногенной нагрузки [6].

Природные, техногенные и антропогенные, физико-химические факторы имеют взаимосвязь с выявлением степени защищенности грунтовых вод [7, 8].

Анализируя различные методики оценки естественной защищенности подземных вод (а в данных исследованиях – грунтовых), пришли к выводу о том, что важно учитывать такие

показатели, как проницаемость, мощность, состав горных пород в зоне аэрации [9, 10].

Выбранный метод основан на расчете времени фильтрации поллютантов для безнапорных горизонтов. Иными словами, защищенность грунтовых вод будет выше, если больше времени будет затрачено на фильтрацию, и соответственно степень защищенности грунтовых вод будет ниже, если отрезок времени, предназначенный для фильтрации, будет коротким [11, 12].

Оценка защищенности подразделяется на качественную и количественную. Для качественной оценки защищенности грунтовых вод суммируются баллы по уровням грунтовых вод, мощности, глубине, особенностям пород и др. (табл. 1).

Для оценки защищенности грунтовых вод по количественному методу ведется учет времени достижения поллютантов уровня безнапорных горизонтов. По количественной оценке время, затраченное на достижение грунтовых вод, определяется зависимостью [12]:

$$t = \frac{n_1 T}{k_1 w} \ln \left[1 + \frac{k_1 m_1}{k_2 m_2} \right],$$

где k_p , n_p , m_1 – коэффициент фильтрации, активная пористость и мощность верхнего слоя; k_2 , m_2 – коэффициент фильтрации и мощность нижнего слоя; T – суммарная проницаемость пласта, w – интенсивность инфильтрационного питания.

Результаты и их обсуждение. После поступления стоков с нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий в воде р. Камы

Таблица 1. Качественная оценка защищенности безнапорных водоносных горизонтов [7]

Table 1. Qualitative assessment of the protection of non-pressurized aquifers [7]

Параметр / Parameter	Диапазон изменения / Range of change	Балл / Point		
Глубина залегания УГВ, м <i>Depth of UGB bedding (groundwater level), m</i>	< 10	1		
	10-20	2		
	20-30	3		
	30-40	4		
	> 40	5		
Мощность слабопроницаемых пород, м <i>Power of weakly permeable rocks, m</i>		Группа отложений / Group of sediments		
		A	B	C
	< 2	1	1	2
	2-4	2	3	4
	4-6	3	4	6
	6-8	4	6	8
	8-10	5	7	10
	10-12	6	9	12
	12-14	7	10	14
	14-16	8	12	16
	16-18	9	13	18
	18-20	10	15	20
	> 20	12	18	25

наблюдались уменьшение содержания показателя БПК₅ и значительное увеличение содержания нитратов (до 6,70 мг/л), хлоридов (до 200 мг/л), сульфатов (до 98,3 мг/л), нефтепродуктов (до 0,22 мг/л). Уровень распространения загрязняющих веществ прослеживается на большом протяжении реки. Так, содержание нефтепродуктов в водном объекте в концентрациях, выше допустимых величин, обнаруживается в пункте наблюдения г. Чайковский, то есть на расстоянии 500 км после поступления стоков НПК (табл. 2).

По оценке химического состава грунтовых вод по скважинам было выявлено, что грунтовые воды подвержены загрязнению нефтепродуктами (до 0,92 мг/л), фенолами (до 0,0016 мг/л) и хлоридами (до 90,25 мг/л). Это объясняется тем, что на исследуемом участке стоки с нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов попадают в грунт (табл. 3).

В целях построения карты категорий защищенности грунтовых вод Пермского края от поллютантов, поступающих с нефтепромышленных комплексов и других источников поверхностной контаминации, изучены геологические и гидрогеологические условия (рис. 1).

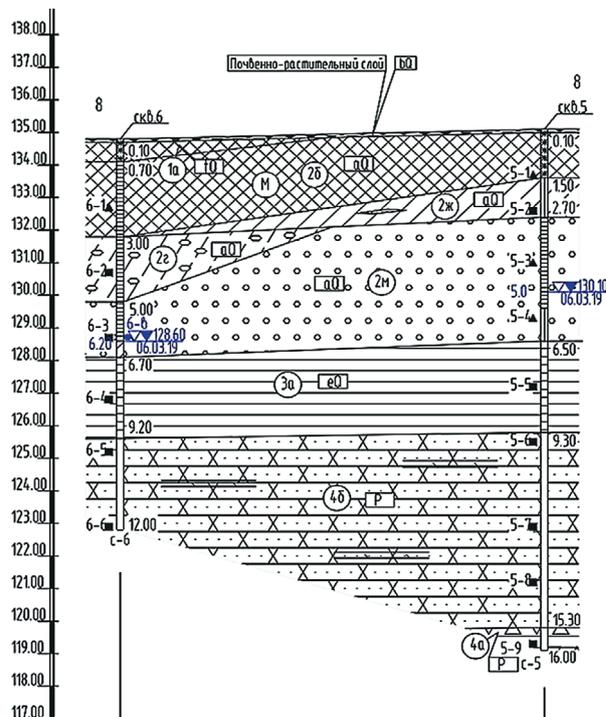


Рис. 1. Геологический разрез в районе города Пермь

Fig. 1. Geological section in the area of the city of Perm

Таблица 2. Химический состав поверхностных вод в р. Кама, июль 2021 г.

Table 2. Chemical composition of surface waters in the Kama River, July 2021

Показатель (мг/л) Indicator (mg/l)	Пункты отбора проб / Sampling points					
	Соликамск Solikamsk	Березники Berezniki	Добрянка Dobryanka	Пермь Perm	Краснокамск Krasnokamsk	Чайковский Chaikovsky
Растворимый кислород Soluble oxygen	9,00	9,25	9,35	9,43	9,49	9,62
БПК ₅ (мг/О ₂ /л) / BOD ₅ (mg/O ₂ /l)	3,10	2,75	2,34	1,99	1,47	1,07
Сульфаты / Sulfates	23,12	48,09	36,87	56,05	78,88	100,43
Нитраты / Nitrates	1,22	5,46	3,25	6,70	2,99	2,56
Хлориды / Chlorides	59,03	200,04	45,22	19,40	54,93	75,02
Медь / Copper	0,0032	0,0046	0,0021	0,0016	0,0029	0,0034
Цинк / Zinc	0,005	0,005	0,0034	0,0030	0,0036	0,0024
Нефтепродукты / Oil products	0,12	0,22	0,20	0,20	0,16	0,16
Фенолы летучие / Volatile phenols	0,0015	0,0015	0,0012	0,0010	0,0012	0,0010
ПАУ (бензпирен, мкг/л) PAHs (benzpyrene, mkg/l)	0,0010	0,0052	0,0012	0,0012	0,0010	0,0010

Таблица 3. Химический состав грунтовых вод на водосборе р. Кама, 2021 г.

Table 3. Chemical composition of groundwater in the catchment area of the Kama River, 2021

Показатель (мг/л) Indicator (mg/l)	Номера скважин отбора проб / Sampling well numbers			
	Соликамск Solikamsk	Березники Berezniki	Пермь Perm	Чайковский Chaikovsky
Хлориды / Chlorides	14,00	66,23	90,25	83,12
Минерализация / Mineralization	745	402	1030	1569
Фенолы / Phenols	0,0012	0,0016	0,0012	0,0010
Нитриты / Nitrites	0,010	0,009	0,009	0,008
Нефтепродукты / Oil products	0,020	0,92	0,022	0,018
Бензол / Benzol	0,02	0,08	0,01	не обнаружено not detected

Для качественной оценки защищенности грунтовых вод по всем параметрам производилось суммирование баллов, и общая сумма баллов определяла категории защищенности грунтовых вод (балльная оценка) (рис. 2).

Результаты по расчету категории защищенности грунтовых вод конкретных районов Пермского края представлены на рисунке 3.

В результате расчетов по качественной и количественной оценке были составлены две карты защищенности грунтовых вод (рис. 4).

Для оценки степени техногенной нагрузки необходимо было получить данные о территориальном планировании Пермского края, о химическом качестве поверхностных и подземных вод, прилегающие к водосборной площади нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие комплексы [13, 14]. На последнем этапе исследований тематические карты совмещались друг с другом для получения общей картины с учетом территориального планирования и размещения особо загрязненных участков исследуемого района с выделением зон наиболее высокой техногенной нагрузки методом суммирования растровых тематических карт (рис. 5).

Были выделены такие уровни техногенной нагрузки на территории водосбора р. Камы Пермского края, как низкий, умеренный, средний, высокий, очень высокий и чрезвычайно высокий. Каждому уровню соответствует интегральный коэффициент. На карту занесены основные предприятия нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, уровни загрязнения поверхностных и грунтовых вод согласно проведенному химическому анализу.

Были выделены такие уровни техногенной нагрузки на территории водосбора р. Камы Пермского края, как низкий, умеренный, средний, высокий, очень высокий и чрезвычайно высокий. Каждому уровню соответствует интегрированный индекс.

К благоприятным территориям с низким уровнем техногенной нагрузки были отнесены районы северной, северо-западной и западной

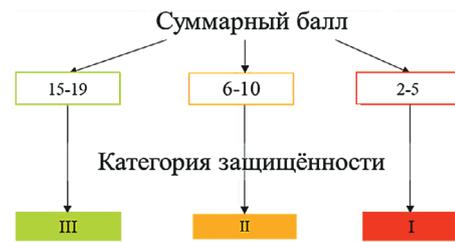


Рис. 2. Методика определения категорий по качественному анализу защищенности грунтовых вод

Fig. 2. Method for determination of categories according to the qualitative analysis of groundwater protection

Районы III категории защищенности грунтовых вод		Районы II категории защищенности грунтовых вод		Районы I категории защищенности грунтовых вод	
Чердынский	17	Александровский	8	Солкамский	3
Гайнский	18	Карагайский	6	Усольский	3
Красновишерский	18	Очерский	7	Добрянинский	2
Косинский	17	Частинский	7	Гремячинский	2
Кочевский	17	Осинский	7	Горнозаводский	2
Юрлинский	16	Кунгурский	6	Чусовской	3
Кудымкарский	15	Лысьвенский	6	Пермский	5
Юсьвинский	15	Кишертский	6	Березовский	2
Ильинский	16	Октябрьский	8	Ординский	2
Сивинский	15			Чернушкинский	3
Верещагинский	15			Куединский	5
Оханский	15				
Большесосновский	16				
Еловский	17				
Уинский	15				
Суксунский	16				

Рис. 3. Показатели качественной оценки защищенности грунтовых вод согласно муниципальным образованиям Пермского края

Fig. 3. Indicators of qualitative assessment of groundwater protection according to municipalities of the Perm Krai

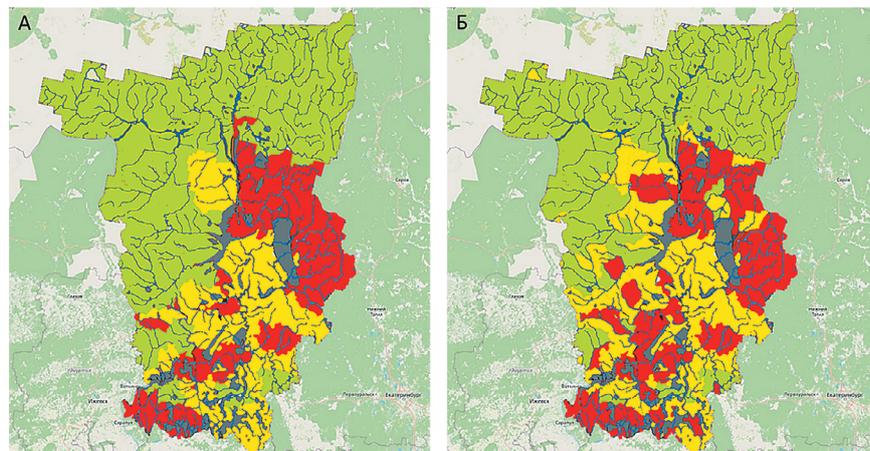


Рис. 4. Карты защищенности грунтовых вод района исследований:

А – по качественной оценке; Б – по количественной оценке

Fig. 4. Maps of groundwater protection of study area: A – by qualitative assessment, B – by quantitative assessment

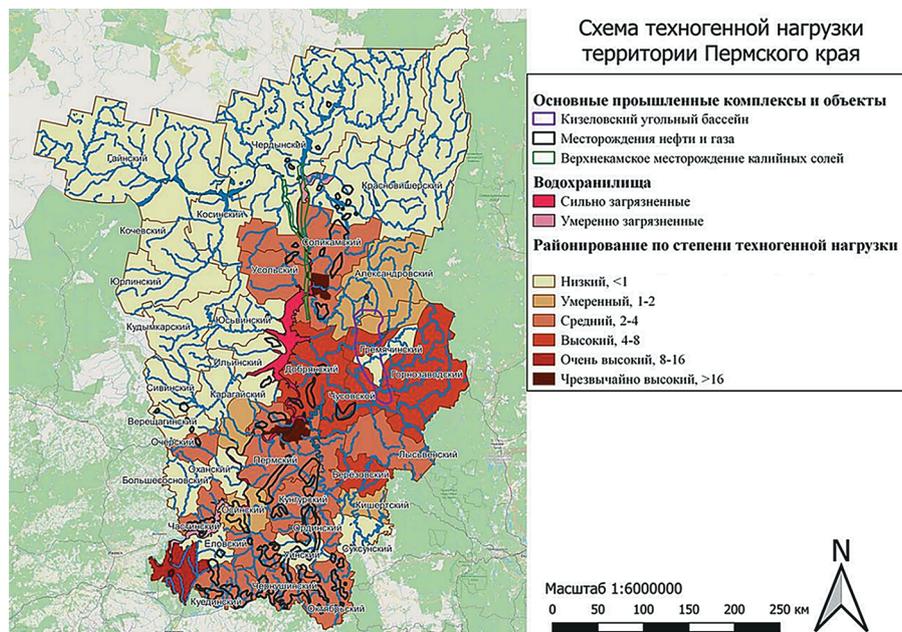


Рис. 5. Районирование по техногенной нагрузке, оказываемой на грунтовые и поверхностные воды территории Пермского края на водосборе р. Камы

Fig. 5. Zoning according to the technogenic load exerted on groundwater and surface water of the territory of the Perm Krai on the catchment of the Kama River

части: например, Чердынский, Большесосновский, Сивинский, Карагайский, Гайнский районы. В данном случае это объясняется тем, что нефтедобывающие комплексы не оказывают влияния на водные объекты, так как находятся ниже по течению водной артерии – р. Камы.

К неблагоприятным территориям с высоким коэффициентом техногенной нагрузки были отнесены южная и центральная части водосборной площади р. Камы. Неблагополучность территорий обосновывается близостью крупнейших комплексов месторождений, относящихся к районам городов Березники, Соликамск, Пермь, Усолье. На южных территориях водосбора р. Камы наблюдается высокая степень загрязнения водных объектов в связи с диффузным стоком поллютантов, их накоплением и довольно близким расположением к месторождениям нефти и газа.

Выводы

Для оценки степени загрязнения поверхностных и подземных вод были проведены лабораторные исследования на содержание таких химических элементов, как нефтепродукты,

Список использованных источников

1. Гольдберг В.М. Взаимосвязь изменения загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 248 с.
2. Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валева Т.К., Рахматуллин Н.Р. Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности

фенолы, ПАУ. В ходе экспериментальной части была выявлена в поверхностных водах тенденция увеличения загрязняющих веществ у крупных нефтепромышленных центров. Уровень распространения загрязняющих веществ наблюдался на протяжении реки. Выявлены участки, где превышаются значения ПДК по нефтепродуктам и сульфатам. Химический анализ подземных вод показал, что превышение значений ПДК фенолов и нефтепродуктов было на территориях городов Березники и Пермь.

Таким образом, было выявлено и обосновано негативное влияние нефтедобывающих комплексов на водные объекты.

Для оценки защищенности грунтовых вод были построены карты с помощью ГИС-технологий в программе QGIS с разработанным модулем синтезирования смежных слоев карт.

Выделены наиболее неблагоприятные районы, соответствующие крупнейшим промышленным узлам и зонам края (Пермско-Краснокамскому, Березниковско-Соликамскому, Лысьвинско-Чусовскому, Кизеловско-Губахинскому, Чайковскому, Кунгурскому). Относительно благоприятными согласно исследованию и по техногенному воздействию на грунтовые воды (за исключением локальных участков) являются северные и западные районы края (Чердынский, Ильинский, Сивинский муниципальные районы), а также все районы Коми-Пермяцкого округа.

Разработанная карта обоснования размещения техногенной нагрузки, полученной методом синтезирования карт естественной защищенности грунтовых вод от поверхностных источников загрязнения, позволяет своевременно планировать различные виды нагрузок на окружающую среду, а также повысить уровень экологической безопасности в исследуемом регионе.

References

1. Goldberg V.M. Vzaimosvyaz izmeneniya zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoj sredy. L.: Gidrometeoizdat. 1987. 248 s.
2. Baktybayeva Z.B., Suleymanov R.A., Valev T.K., Rakhmatullin N.R. Otsenka vozdeystviya neftepererabatyvayushhej i neftehimicheskoj promyshlennosti

на эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды и здоровье населения (обзор литературы) // Медицина труда и экология человека. 2018. № 4 (16). С. 12-26.

3. **Anvarovich R., Bakirov A., Gimranova G., Valeev T.** Hygienic assessment of health risks of the population living in the areas of intensive oil extraction // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9, № 26. С. 97-104.

4. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A., Bogomazova Y.S.** Calculation methods of groundwater backwater in the zone of influence of hydraulic structures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Т. 723, № 5. С. 052006.

5. **Карпенко Н.П.** Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков // Природообустройство. 2018. № 2. С. 15-22.

6. **Белоусова А.П., Меняева Ю.В., Руденко Е.Э.** Методы оценки защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению в регионах со сложной экологической ситуацией // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3, № 2. С. 100-130.

7. **Карпенко Н.П.** Аналитический подход в вопросах изучения экологических проблем на водосборных бассейнах // Труды XXII Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем», декабрь 2014 г. М.: РГГУ, 2014. С. 196-198.

8. **Карпенко Н.П., Ширяева М.А.** Гидрогеоэкологическое обоснование размещения техногенной нагрузки с использованием синтезированных карт естественной защищенности грунтовых вод // Природообустройство. 2020. № 3. С. 114-122.

9. **Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О.** Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды: монография. М.: Изд-во «Мирнауки», 2017. 191 с

10. **Shiryayeva M., Bakshtanin A.** Mathematical justification constructive solutions project to modernize sewage treatment plants in the HPP // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022. Т. 2632, № 1. С. 020007.

11. **Шестаков В.М.** Гидрогеодинамика: учебник. 3-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.

12. **Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Гидрогеологический анализ современного состояния качества подземных вод Московского региона // Природообустройство. 2020. № 4. С. 128-136.

13. **Даль Л.И.** Методология анализа и оценки медико-экологических опасностей и рисков // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 4. С. 411-415.

Критерии авторства

Карпенко Н.П., Ширяева М.А. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022

Одобрена после рецензирования 11.01.2023

Принята к публикации 15.01.2023

na ekologo-gigienicheskoe sostoyanie objektov okruzhayushchej sredy i zdorovje naseleniya (obzor literatury) // Meditsina truda i ekologiya cheloveka. 2018. № 4 (16). S. 12-26.

3. **Anvarovich R., Bakirov A., Gimranova G., Valeev T.** Hygienic assessment of health risks of the population living in the areas of intensive oil extraction // Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9. No. 26. pp. 97-104.

4. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A., Bogomazova Y.S.** Calculation methods of groundwater backwater in the zone of influence of hydraulic structures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 723. No. 5. P. 052006.

5. **Karpenko N.P.** Otsenka geoekologicheskoy situatsii rechnyh bassejnov na osnove atributivnykh pokazatelej i obobshchennykh geoekologicheskikh riskov // Prirodobustrojstvo. 2018. № . 2. S. 15-22.

6. **Belousova A.P., Menyayeva Yu.V., Rudenko E.E.** Metody otsenki zashchishchennosti i uyazvimosti podzemnykh vod k zagryazneniyu v regionah so slozhnoj ekologicheskoy situatsiej // Ekosistemy: ekologiya i dinamika. 2019. – Т. 3. № 2. S. 100-130.

7. **Karpenko N.P.** Analiticheskij podhod v voprosah izucheniya ekologicheskikh problem na vodosbornykh bassejnah / Trudy XXII mezhdun. konf. «Problemy upravleniya bezopasnostyu slozhnykh sistem», dekabr 2014 g. M.: RGGU, 2014. S. 196-198. Analytical approach to the study of environmental problems in catchment basins / Proceedings of the XXII International Conference «Problems of safety

8. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A.** Gidrogeologicheskoe obosnovanie razmeshcheniya tehnogennoj nagruzki s ispolzovaniem sintezirovannykh kart estestvennoj zashchishchennosti gruntovykh vod // Prirodobustrojstvo. 2020. № . 3. S. 114-122.

9. **Zlobina V.L., Medovar Yu.A., Yushmanov I.O.** Transformatsiya sostava i svoystv podzemnykh vod pri izmenenii okruzhayushchej sredy. M.: Izd-vo «Mirnauki», 2017. 191 s.

10. **Shiryayeva M., Bakshtanin A.** Mathematical justification constructive solutions project to modernize sewage treatment plants in the HPP // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022. С. 020007.

11. **Shestakov V.M.** Gidrogeodinamika: uchebnik. 3-e izd. – M.: Izd-vo MGU, 1995. – 368 s.

12. **Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Gidrogeologicheskij analiz sovremennogo sostoyaniya kachestva podzemnykh vod Moskovskogo regiona // Prirodobustrojstvo. 2020. № . 4. S. 128-136.

13. **Dal L.I.** Metodologiya analiza i otsenki mediko-ekologicheskikh opasnostej i riskov // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii. 2016. № . 4. S. 411-415.

Criteria of authorship

Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. 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.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 22.11.2022

Approved after reviewing 11.01.2023

Accepted for publication 15.01.2023

Оригинальная статья

УДК 627.141.1

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-102-107



ЗОНЫ ПОРАЖЕНИЯ СЕЛЕВЫМИ ПОТОКАМИ 1967 ГОДА В ДОЛИНЕ РЕКИ БАКСАН (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ)

Докукин Михаил Дмитриевич^{1✉}, канд. геогр. наук

AuthorID: 633706; orcid.org/0000-0001-9603-195X; Scopus Author ID: 6508293272; WOS Research ID: T-5478-2017; inrush@bk.ru

Беккиев Мухтар Юсубович¹, д-р техн. наук, профессор

AuthorID: 271765; https://orcid.org/0000-0001-6438-4654; Scopus Author ID: 57200092930; WOS Research ID: AAB77692020; mbekk@mail.ru

Калов Руслан Хажбарович¹, канд. физ.-мат. наук, доцент

https://orcid.org/0000-0002-4235-6019; Scopus Author ID: 57202231180; WOS Research ID: V-6505-2018; ruslan_kalov@mail.ru

Шагин Сергей Иванович², д-р геогр. наук, профессор

AuthorID: 476386; Scopus Author ID: 56960655700; uniid-sergey@yandex.ru

¹Высокогорный геофизический институт, 360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2, Россия

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

Аннотация. Целью исследований явилось определение максимальных зон поражения селевыми потоками на участке долины р. Баксан (Центральный Кавказ). Актуальность исследований заключается в том, что объекты в долине р. Баксан неоднократно подвергались разрушительному воздействию селевых потоков, которые в разные годы имели разные параметры зон поражения. Объект исследований – селепроявления 1967 г., вызванные выпадением аномального количества осадков. В работе использованы космоснимки проекта Corona до и после схода селей и космоснимки Sentinel-2, отражающие современную ситуацию. Привязка космоснимков осуществлялась в программе ArcMap по опорным точкам. Границы зон селевых отложений проводились по характерному светлomu фототону при интерактивном сравнении космоснимков. Особое внимание уделено участку села Верхний Баксан, в котором были разрушены несколько домов селевыми потоками, сошедшими по левому и правому притокам р. Кыртык (реки Джугуртау и Сылтрансу). Селевые массы отложились на площади 0,22 км² на конусе выноса р. Кыртык и в пойме р. Баксан, частично разрушив дорогу на ее правом берегу. Площадь зоны селевых отложений на конусе выноса р. Сагаевский и в пойме р. Баксан составила 0,18 км². При этом русло р. Баксан было оттеснено к правому склону долины на расстояние до 100 м. Последующие сели по р. Сагаевский не достигли масштабов 1967 г. Сели по р. Кыртык до настоящего времени не повторялись. Сделан вывод о том, что выявленные границы зон поражения селевыми потоками 1967 г. могут считаться максимальными, и их необходимо учитывать при проектировании объектов и защитных сооружений.

Ключевые слова: селевой поток, конус выноса, селевые отложения, космоснимок, зона поражения

Формат цитирования: Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Шагин С.И. Зоны поражения селевыми потоками 1967 года в долине реки Баксан (Центральный Кавказ) // Природообустройство. 2023. № 1. С. 102-107. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-102-107.

© Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Шагин С.И., 2023

Original article

ZONES AFFECTED BY MUDFLOWS OF 1967 IN THE VALLEY OF THE BAKSAN RIVER (CENTRAL CAUCASUS)

Dokukin Mikhail Dmitrievich^{1✉}, candidate of geographical sciences, leading researcher

AuthorID: 633706; //orcid.org/0000-0001-9603-195X; Scopus Author ID: 6508293272; WOS Research ID: T-5478-2017; inrush@bk.ru

Bekkiev Mukhtar Yusubovich¹, doctor of technical sciences, professor

AuthorID: 271765; //orcid.org/0000-0001-6438-4654; Scopus Author ID: 57200092930; WOS Research ID: AAB77692020; mbekk@mail.ru

Kalov Ruslan Khazhbarovich¹, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor
//orcid.org/0000-0002-4235-6019; Scopus Author ID: 57202231180; WOS Research ID: V-6505-2018; ruslan_kalov@mail.ru

Shagin Sergey Ivanovich, doctor of geographical sciences, professor

AuthorID: 476386; Scopus Author ID:56960655700; uniid-sergey@yandex.ru

¹High-Mountain Geophysical Institute, 360030, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2, Russia

²Berbekov Kabardino-Balkarian State University, 360004, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Chernyshevsky str., 173, Russia

Annotation. *The purpose of the work is to conduct research to determine the maximum areas affected by mud flows in the Baksan River valley (Central Caucasus). The relevance of the work lies in the fact that the objects in the Baksan River valley have repeatedly been subjected to the destructive effects of mud flows, which in different years had different parameters of the affected areas. The object of the study is the 1967 mud flows caused by an abnormal amount of precipitation. The work uses satellite images of the Corona project before and after the mud flows and Sentinel-2 satellite images reflecting the current situation. Satellite images were georeferenced in ArcMap using control points. The boundaries of the mud flow sediment zones were drawn along the characteristic light phototone during the interactive comparison of satellite images. Special attention is paid to the section of the Verkhny Baksan village, in which several houses were destroyed by mud flows that descended along the left and right tributaries of the Kyrtyk River (the Dzhugurtau and Syltransu rivers). Mudflow masses were deposited on an area of 0.22 km² on the outflow cone of the Kyrtyk River and in the floodplain of the Baksan River, partially destroying the road on its right bank. The area of the debris deposit zone on the outflow cone of the Sagaevsky River and in the floodplain of the Baksan River was 0.18 km². At the same time, the channel of the Baksan River was pushed to the right slope of the valley at a distance of up to 100 m. Subsequent mudflows along the Sagaevsky River did not reach the scale of 1967. It is concluded that the identified boundaries of the zones affected by mudflows of 1967 can be considered maximum and they must be taken into account when designing objects and protective structures.*

Keywords: *mud flow, outflow cone, mud flow deposits, satellite image, affected area*

Format of citation: *Dokukin M.L., Bekkiev M.Yu., Kalov R.Kh., Shagin S.I. Zones affected by mudflows of 1967 in the valley of the Baksan River (Central Caucasus) // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 1. S. 102-107. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-102-107.*

Введение. Селевые потоки наносят большой ущерб экономике и населению. В зоне аккумуляции селевые потоки поражают участки значительной площади. При изысканиях для строительства в районах развития селевых процессов должны быть определены возможные зоны поражения территории селевым процессом [1]. Для этого применяются различные методы включая дешифрирование аэро- и космических материалов. В некоторых случаях в прошлом фиксировались селепроявления максимальных масштабов, информация о которых имеет большое значение для оценки зон поражения селевыми потоками территорий возможного строительства или уже построенных объектов.

В долине р. Баксан исследование селей проводилось со второй половины XX в. Накоплен значительный объем информации о датах схода селей и их характеристиках, что отражено в кадастрах [2, 3]. Материалы обследований селевых потоков в бассейне р. Баксан изложены в большом количестве публикаций. Так, в работах И.Б. Сейновой и В.А. Герасимова [4-7] уделено внимание масштабным селевым процессам 5 августа 1967 г., вызванным выпадением аномально высокого количества атмосферных осадков, близким

к 1%-ной повторяемости (85,9 мм по данным метеостанции Терскол).

События 1967 г. в долине р. Баксан авторы проанализировали с использованием космических снимков до схода селей и после него. На рисунке 1 показаны участки селепроявлений [4-7].

Материалы и методы исследований. Для анализа были выбраны космоснимки спутников КН-4А и КН-4В проекта Corona 1964, 1966 и 1968 гг. (сайт EarthExplorer) и космоснимок WorldView-3 2020 г. (Google Earth). Космоснимки привязывались в программе ArcMap по опорным точкам к космоснимкам Sentinel-2, полученным с сайта Sentinel Hub EO Browser, с пространственной привязкой в системе координат WGS84 проекции UTM.

В программе ArcMap проводилось сравнительное дешифрирование разновременных снимков с применением инструмента «Защитить слой» (Swipe Layer) для интерактивного отображения разновременных слоев и создавались электронные слои границ зон селевых отложений с учетом резких изменений – как на конусах выноса, так и в пойме р. Баксан.

Результаты и их обсуждение. В результате сравнения космоснимков до схода селей

и после него было выбрано 5 участков с четко выраженными зонами аккумуляции селей 1967 г. (рис. 1). Участок селевых отложений на конусе выноса р. Къртык (рис. 2) образован селевыми потоками по притокам р. Къртык (р. Джугуртау – № 1; р. Сылтрансу – № 2) (рис. 1, 2а).

При оценке селевой опасности обычно отмечают селевые бассейны рек Къртык и Сылтрансу [2, 3], хотя это не совсем верно, так как селевые потоки сходят по двум притокам р. Къртык (Сылтрансу и Джугуртау), а сама р. Къртык выше впадения р. Джугуртау является неселеносной. Сели по р. Джугуртау проходят по участку долины р. Къртык транзитом, поэтому на схемах (рис. 1, 2) под номером 1 нами обозначена р. Джугуртау.

В работах [8, 9] приведены данные о расходах селей по притокам р. Къртык: для р. Джугуртау – 66,2 м³/с, а для р. Сылтрансу – 190 м³/с. В работе [7] приводятся более высокие значения расходов селей: р. Джугуртау – максимальная селевая волна достигала 300 м³/с; р. Сылтрансу – до 500-700 м³/с. При описании катастрофического селя 5 августа 1967 г. отмечалось [4-7], что селевые массы р. Сылтрансу при впадении в р. Къртык создали запруду, которую затем прорвали потоки р. Джугуртау. На территории сельского поселения Верхний Баксан при этом было отложено около 200 тыс. м³ селевого обломочного материала. О селях

р. Къртык говорится в источниках [10, 11], где приводятся сведения из предыдущих работ, а в работе [11] приведены точки маршрута по р. Къртык и р. Сылтрансу.

На рисунке 2а показан участок селевых отложений, ширина которого в пределах сельского поселения Верхний Баксан составляла 100-200 м. Значительная доля селевой массы отложилась в пойме р. Баксан. Ширина зоны отложений здесь была больше – до 240 м. Общая площадь участка селевых отложений составляет 0,22 км². На рисунке 2б видим, что в зоне отложений находилось более 20 построек. В настоящее время (рис. 2г) в зоне поражения селевым потоком находятся 14 строений, среди которых есть мечеть.

Зона поражения селевыми потоками р. Къртык может быть увеличена в случае выброса больших объемов воды из озера Сылтранкель,

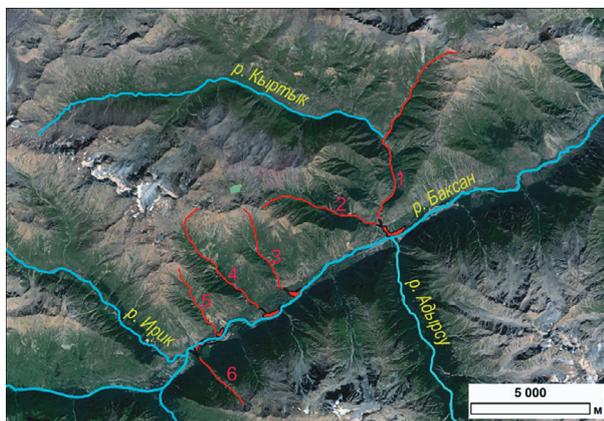


Рис. 1. Схема селепроявлений 1967 г. в долине р. Баксан:

- 1 – р. Джугуртау; 2 – р. Сылтрансу;
- 3 – р. Кызген; 4 – р. Губасантысу;
- 5 – безымянный приток р. Баксан;
- 6 – р. Сагаевский (подложка – космоснимок Sentinel-2/27.08.2021 г.)

Fig. 1. Scheme of mudflows occurrence of 1967 in the valley of the Baksan River:

- 1 – Dzhugurtau River, 2 – Syltransu River,
- 3 – Kyzgen River, 4 – Gubasantysu River,
- 5 – Unnamed tributary of Baksan River,
- 6 – Sagaevsky River. Substrate – satellite image Sentinel-2/27.08.2021

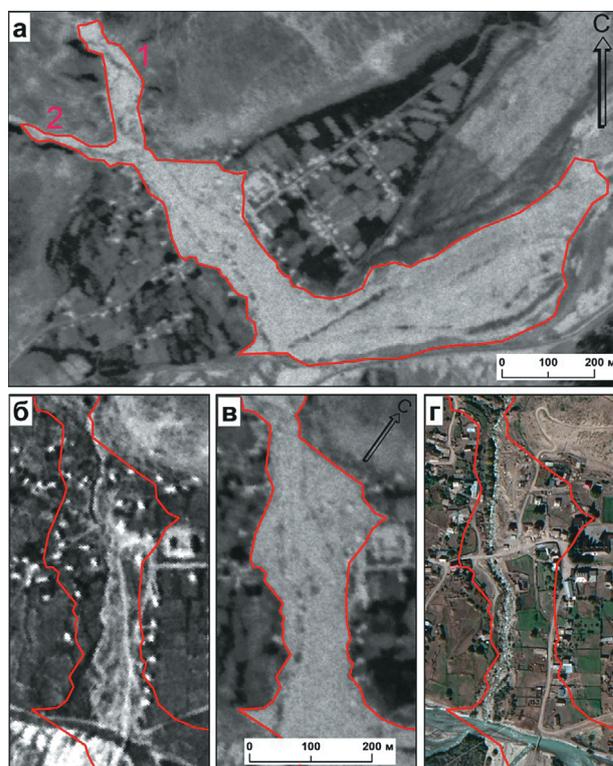


Рис. 2. Зона селевых отложений р. Къртык (Джугуртау и Сылтрансу):

- а – космоснимок Corona KH-4B26.06.1968 г. (р. Джугуртау – 1, р. Сылтрансу – 2);
- б – космоснимок Corona KH-4A 08.10.1964 г.;
- в – космоснимок Corona KH-4B26.06.1968 г.;
- г – космоснимок WorldView-3 11.10.2020 г. (Google Earth)

Fig. 2. Zone of mud deposits of the Kyrtyk River (Dzhugurtau and Syltransu):

- а – space image Corona KH – 4B26.06.1968 (Dzhugurtau river – 1, Syltransu river – 2), б – space image Corona KH – 4A 08.10.1964, в – space image Corona KH – 4B26.06.1968, г – space image WorldView – 3 11.10.2020 (Google Earth)

находящегося в верховьях р. Сылтрансу, при падении в него скальных обвалов [12], так как ранее, по сообщению В.Я. Тешцова, был зафиксирован такой случай в 1881 г. [13].

На риунке 3б показаны участки селевых отложений рек Кызген (№ 3) и Губасантысу (№ 4), площадь которых составляет соответственно 0,14 и 0,16 км². В левой части отложений р. Кызген остались непораженные участки, разделенные селевыми руслами. Отложения селей р. Губасантысу 1967 г. сосредоточены на участке молодого конуса в виде нескольких рукавов, расходящихся веером.

По данным [7], расходы селей рек Кызген и Губасантысу составляли 80 м³/с и около 500 м³/с соответственно, а по данным [8], расход селя р. Губасантысу составлял 230-370 м³/с.

В настоящее время в зоне поражения селевым потоком р. Кызген находятся автодорога (рис. 3в) и садовые участки. Большая часть селевых отложений поросла деревьями.

На отложениях селей р. Губасантысу построены объекты Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) (рис. 3в), защиту которых обеспечивает противоселевое сооружение из железобетонной стенки и земляного канала, отводящих

селевое русло от застроенного участка. Незащищенной от селей р. Губасантысу остается автодорога.

По следующему левому притоку р. Баксан выше р. Губасантысу также прошел сель (№ 5 на рисунках 1, 4б).

Площадь отложений этого селя была небольшой – 0,06 км², но и в этом случае селевые массы распространялись по пойме р. Баксан. В этом бассейне весной нередко сходят мокрые снежные лавины, способные отложить обломочный материал, как это было в марте 2018 г. [14]. После 1967 г. в кадастре [2] отмечены сходы селей в 1980 и 1983 гг. На аэрофотоснимке 17.08.1983 г. селевые отложения занимают около половины площади отложений 1967 г. Возможно, часть из них является отложениями мокрых лавин, насыщенных обломочным материалом. Следовательно, селевые отложения левого безымянного притока р. Баксан 1967 г. можно считать максимальными.

Сели р. Сагаевский (№ 6 на рисунках 1 и 4б) отличаются высокой активностью. Селевая деятельность продолжается и в настоящее время [15, 16] (рис. 4в). Расходы селей р. Сагаевский составляли в 1979 и 1981 гг. [8, 9] 64 м³/с, а в 1967 г. [6] – 166 м³/с. Параметры селя 1967 г.

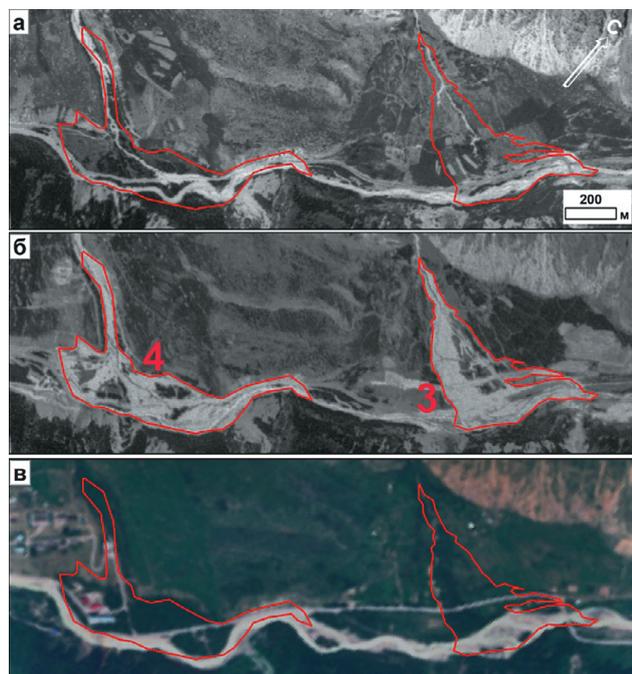


Рис. 3. Зоны селевых отложений рр. Кызген и Губасантысу:

- а – космоснимок Corona KH-4B17.08.1966 г.;
- б – космоснимок Corona KH-4B26.06.1968 г.;
- в – космоснимок Sentinel-2.06.06.2022 г.

Fig. 3. Zones of mud deposits of Rivers Kyzgen and Gubasantysu:
 а – space image Corona KH – 4B17.08.1966,
 б – satellite image Corona KH – 4B26.06.1968,
 в – satellite image Sentinel-06.06.2022

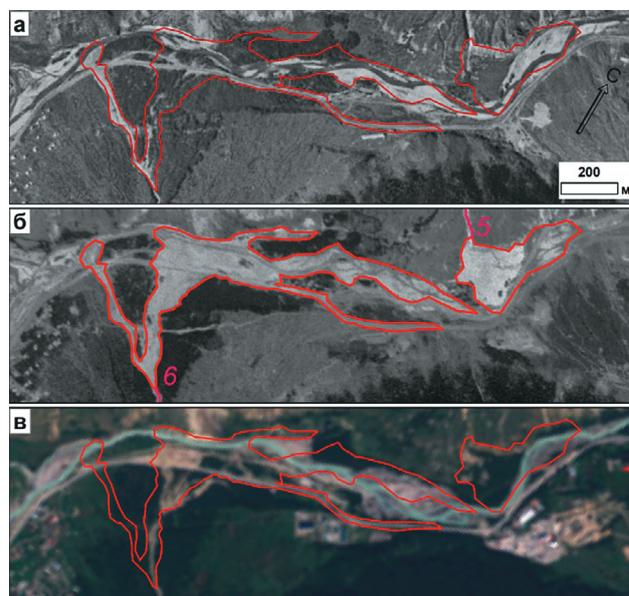


Рис. 4. Зоны селевых отложений р. Сагаевский и безымянного левого притока р. Баксан:

- а – космоснимок Corona KH-4A 08.10.1964 г.;
- б – космоснимок Corona KH-4B26.06.1968 г.;
- в – космоснимок Sentinel-2.27.08.2021 г.

Fig. 4. Zones of mud deposits of the Sagaevsky River and the unnamed left tributary of the Baksan River:
 а – space image Corona KH – 4A 08.10.1964,
 б – space image Corona KH – 4B26.06.1968,
 в – satellite image Sentinel-2.27.08.2021

приняты повторяемостью один раз в 100 лет. Общий объем выноса составил 330 тыс. м³, а объем отложений на конусе выноса – 150 тыс. м³ [6].

По нашим данным, площадь селевых отложений в 1967 г. составила 0,18 км² (рис. 4б). Селем был смещен левый берег р. Баксан на 100 м. В последующем некоторые сели откладывали материал частично за пределами границ зоны отложений 1967 г.: в 1983 г. – слева и на левом берегу р. Баксан; в 2017 г. – справа (рис. 4в).

Выводы

Исследования показали, что в 1967 г. зоны поражения селями 5 притоков р. Баксан (Кыртук, Кызген, Губасантысу, безымянный левый приток, Сагаевский) можно считать максимальными. Масштаб селей 1967 г. был обязан аномальным осадкам, превышающим 85 мм. В будущем возможно повторение подобных событий

Список использованных источников

1. СП 479.1325800.2019. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов. Общие требования. М., 2019. 59 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565565870>.
2. Кадастр лавинно-селевой опасности Кабардино-Балкарской Республики / В.В. Разумов, Е.В. Кюль и др.; Под общ. ред. М.Ч. Залиханова. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 54 с.
3. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России / Н.В. Кондратьева и др. М.: Феория; Нальчик: Печатный двор, 2015. 148 с.
4. Герасимов В.А. Катастрофические сели в долине Баксана // Природа. 1968. № 12. С. 114-115.
5. Герасимов В.А. О селеопасности горных рек Кабардино-Балкарии и возможных мерах противоселевой защиты // Труды ВГИ. 1970. Вып. 16. С. 63-76.
6. Сейнова И.Б. Селевые процессы бассейна р. Баксан в последнем тысячелетии. М.: Деп. ВИНТИ № 9763-В97, 1997. 295 с.
7. Сейнова И.Б. Условия формирования селевых потоков в Кабардино-Балкарской АССР (Центральный Кавказ): Дис. ... канд. геогр. наук / Московский государственный университет. М., 1970. 161 с.
8. Никулин А.С. Максимальные расходы селей в бассейне р. Баксан (по следам потоков) // Труды Всероссийской конференции по селям, 26-28 октября 2005 г. / Под ред. М.Ч. Залиханова. М.: ЛКИ, 2008. С. 155-160.
9. Носов К.Н. Параметры селевых потоков бассейна реки Баксан // Природообустройство. 2010. Вып. 4. С. 50-56.
10. Джашпуев Д.Р. Картографирование селевых форм рельефа при помощи GPS-съемки на примере села Верхний Баксан Кабардино-Балкарской Республики // Известия КБНЦ РАН. 2014. № 3 (59). С. 25-31.
11. Джашпуев Д.Р., Гяургиева М.М. Характеристика селевой деятельности в бассейнах рек Кыртук, Сылтран-су и Адыр-су за последние 150 лет (район села Верхний Баксан) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 1 (63). С. 67-72.
12. Крыленко И.Н., Сурков В.В., Тарбеева А.М., Крыленко И.В. Морфология озера Сылтран (бассейн р. Баксан) и оценка его прорывоопасности

при достижении таких величин осадков. Катастрофическими могут быть последствия выброса больших объемов воды из озера Сылтранкель при падении в него блоков скальных пород.

Следует отметить факт наличия значительного количества объектов в сельском поселении Верхний Баксан, находящихся в настоящее время в зоне поражения селевыми потоками р. Кыртук и ее притоков – рек Сылтрансу и Джугуртау. Для защиты этих объектов необходимо разработать комплекс противоселевых сооружений и мероприятий. Одним из вариантов может быть селепропускной лоток.

В будущем при оценке селевой опасности и при проектировании объектов и противоселевых сооружений целесообразно использовать аэрофотоснимки и космоснимки, близкие по времени к катастрофическим событиям прошлого, и наносить границы зон поражения.

References

1. SP 479.1325800.2019. Svod pravil. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva v rajonah razvitiya selevyh protsessov. Obshhie trebovaniya. M., 2019. 59 s. <https://docs.cntd.ru/document/565565870>.
2. Kadastr lavinno-selevoj opasnosti Kabardino-Balkarskoj Respubliki / V.V. Razumov, E.V. Kyul i dr.; pod obshh. red. M.Ch. Zalikhanova. SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. 54 s.
3. Kadastr selevoj opasnosti Yuga Evropejskoj chasti Rossii / N.V. Kondratjeva i dr. M.: Feoriya; Nalchik: Pechatnyj dvor, 2015. 148 s.
4. Gerasimov V.A. Katastroficheskie seli v doline Baksana // Priroda. 1968. № 12. S. 114-115.
5. Gerasimov V.A. O seleopasnosti gornyh rek Kabardino-Balkarii i vozmozhnyh merah protivoselevoj zashchity // Trudy VGI. 1970. Vyp. 16. S. 63-76.
6. Sejnova I.B. Selevye protsessy bassejna r. Baksan v poslednem tysyacheletii. M.: Dep. VINITI № 9763-V97, 1997. 295 s.
7. Sejnova I.B. Usloviya formirovaniya selevyx potokov v Kabardino-Balkarskoj ASSR (Central'nyj Kavkaz): diss. kand. geogr. nauk. Moskovskij gos. un-t. M., 1970. 161 s. Usloviya formirovaniya selevyh potokov v Kabardino-Balkarskoj ASSR (Tsentralnyj Kavkaz): diss. kand. geogr. nauk. Moskovskij gos. un-t. M., 1970. 161 s.
8. Nikulin A.S. Maksimalnye raskhody selej v bassejne r. Baksan (po sledam potokov) // Trudy Vserossijskoj konferentsii po selyam: 26-28 oktyabrya 2005 g. / Pod red. M.Ch. Zalikhanova. M.: LKI, 2008. S. 155-160.
9. Nosov K.N. Parametry selevyh potokov bassejna reki Baksan // Prirodoobustrojstvo. 2010. Vyp. 4. S. 50-56.
10. Dzhashpuev D.R. Kartografirovanie selevyh form reljefa pri pomoshchi GPS-sjemki na primere sela Verhnij Baksan Kabardino-Balkarskoj Respubliki // Izvestiya KBNTS RAN. 2014. № 3 (59). S. 25-31.
11. Dzhashpuev D.R., Gyaurgieva M.M. Harakteristika selevoj deyatelnosti v bassejnah rek Kyrtuk, Syltran-su i Adyr-su za poslednie 150 let (rajon sela Verhnij Baksan) // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2015. № 1 (63). S. 67-72.
12. Krylenko I.N., Surkov V.V., Tarbeeva A.M., Krylenko I.V. Morfologiya ozera Syltran (bassejn r.

// Труды Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита». Пятигорск, 2008. С. 305-308.

13. **Тепцов В.Я.** По истокам Кубани и Терека // Сборник материалов для описания местностей и племен Кавказа. Тифлис: Типография канцелярии Главноначальствующего гражданскою частью на Кавказе, 1892. Вып XIV. С. 59-212.

14. **Мискарова Р.Г., Докукин М.Д.** Массовый сход лавин в марте 2018 года в Приэльбрусье Кабардино-Балкарской республики // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3, № 6 (14). С. 41-46.

15. **Тлугачев Т.Р., Гяургиева М.М.** Исследование селевого бассейна р. Сагаевский после схода селевого потока 20.08.2012 г. // Труды ВГИ. 2014. Вып. 98. С. 49-52.

16. **Гегиев К.А., Батчаев И.И., Анаев М.Т.** Селевые потоки в русле Сагаевского притока р. Баксан в КБР // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. 2021. Т. XI. С. 311-315.

Критерии авторства

Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Шагин С.И. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 20.11.2022

Одобрена после рецензирования 25.12.2022

Принята к публикации 27.12.2022

Baksan) i otsenka ego proryvoopasnosti // Trudy` mezhdunarodnoj konferentsii «Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita». Pyatigorsk: 2008. S. 305-308.

13. **Teptsov V.Ya.** Po istokam Kubani i Tereka. Sbornik materialov dlya opisaniya mestnostej i plemyon Kavkaza. Tiflis: Tipografiya kantselyarii Glavnonachalstvuyushchego grazhdanskoyu chastjyu na Kavkaze, 1892. Vyp XIV. S. 59-212.

14. **Miskarova R.G., Dokukin M.D.** Massovyy skhod lavin v marte 2018 goda v Prielbrusje Kabardino-Balkarskoj respubliky // Groznenskiy estestvennonauchnyj byulleten. 2018. T. 3. № 6(14). S. 41-46.

15. **Tlugachev T.R., Gyaurgieva M.M.** Issledovanie selevogo bassejna r. Sagaevskij posle skhoda selevogo potoka 20.08.2012 g. // Trudy VGI. 2014. Vyp. 98. S. 49-52.

16. **Gegiev K.A.** Selevye potoki v rusle Sagaevskij pritoka r. Baksan v KBR / Khadzhiyev M.M., Batchaev I.I., Anaev M.T. // Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoeologii Severnogo Kavkaza. 2021. Tom XI. S. 311-315.

Criteria of authorship

Dokukin M.L., Bekkiev M.Yu., Kalov R.Kh., Shagin S.I. 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.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors.

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 20.11.2022

Approved after reviewing 25.12.2022

Accepted for publication 27.12..2022

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

Оригинальная статья

УДК 582.06+630*17

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-108-114



ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФЛОРЫ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ АКАДЕМИИ

Дубенок Николай Николаевич , академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор
WOS Research ID: AAC-7746-2020; Scopus Author ID: 57200111134; РИНЦ ID: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

Лебедев Александр Вячеславович , канд. с.-х. наук, доцент
WOS Research ID: AAX-9891-2020; Scopus Author ID: 57214907823; РИНЦ ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Миронова Галина Михайловна, канд. с.-х. наук, доцент
g.shcishckina@yandex.ru

Гостев Владимир Викторович, ассистент
vgostev@internet.ru

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

Аннотация. На современном этапе к важнейшим экологическим вопросам относится проблема сохранения биологического разнообразия, которая особенно актуальна для естественных природных ландшафтов, расположенных в урбанизированных условиях. На лесных территориях в условиях антропогенных воздействий происходит трансформация региональной флоры, тем самым она адаптируется к действию факторов окружающей среды. Целью исследований являлся анализ таксономической структуры флоры сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии (г. Москва). Материалы по формированию флористического списка Лесной опытной дачи получены во время инвентаризаций постоянных пробных за период с 2000 по 2022 гг., а также маршрутных обследований территории в 2019-2022 гг. Кроме того, использована выгрузка по сосудистым растениям из Глобальной информационной системы о биоразнообразии (GBIF) с 2000 г. Исследования показали, что актуальный флористический список сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии насчитывает 352 вида, относящихся к 202 родам и 68 семействам, входящим в пять классов. Крупнейшими таксонами являются семейства Rosaceae, Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae, Cyperaceae, на которые приходится 52,3% видов. В Лесной опытной даче выявлено 11 видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Москвы. Фракция адвентивных сосудистых растений во флоре Лесной опытной дачи насчитывает 99 видов (28,1% от общего количества выявленных видов), относящихся к 66 родам и 34 семействам. Среди семейств адвентивной фракции наиболее многовидовыми являются Rosaceae (22 вида), Aceraceae (10 видов), Asteraceae (7 видов), Pinaceae (7 видов). Доля адвентивных видов не превышает 30%, поэтому флору следует считать естественной, слабонарушенной. Несмотря на высокий уровень рекреации, загрязнений от автомобильного транспорта, растительные сообщества Лесной опытной дачи продолжают сохранять признаки естественного объекта, которые соответствует природным условиям Московского региона.

Ключевые слова: флора, биологическое разнообразие, таксономический анализ, сосудистые растения, Москва

Формат цитирования: Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Миронова Г.М., Гостев В.В. Таксономический анализ флоры сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской академии // Природообустройство. 2023. № 1. С. 108-114. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-108-114.

© Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Миронова Г.М., Гостев В.В., 2023

Original article

TAXONOMICAL ANALYSIS OF THE FLORA OF VASCULAR PLANTS IN THE FOREST EXPERIMENTAL STATION OF THE TIMIRYAZEV ACADEMY

Dubenok Nikolay Nikolaevich , RAS academician, doctor of agricultural sciences, professor
WOS Research ID: AAC-7746-2020; Scopus Author ID: 57200111134; RINTS ID: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

Lebedev Alexander Vyacheslavovich , candidate of agricultural sciences, associate professor
WOS Research ID: AAX-9891-2020; Scopus Author ID: 57214907823; RINTS ID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Mironova Galina Mikhailovna, candidate of agricultural sciences, associate professor
g.shchishckina@yandex.ru

Gostev Vladimir Viktorovich, assistant
vgostev@internet.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49, Russia

Annotation. At the present stage, the most important environmental issues include the problem of preserving biological diversity, which is especially relevant for natural landscapes located in urbanized conditions. In the forest areas under the conditions of anthropogenic impacts, the transformation of the regional flora takes place, thereby it adapts to the action of environmental factors. The aim of the study was to analyze the taxonomic structure of the vascular plant flora of the Forest Experimental Station of the Timiryazev Agricultural Academy (Moscow). Materials on the formation of the floristic list of the Forest Experimental Station were obtained during inventories of permanent trial ones for the period from 2000 to 2022, as well as route surveys of the territory in 2019-2022. In addition, a vascular plant download from the GBIF since 2000 was used. The study showed that the current floristic list of vascular plants of the Forest Experimental Station of the Timiryazev Agricultural Academy includes 352 species belonging to 202 genera and 68 families included in five classes. The largest taxa are the families Rosaceae, Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae, Cyperaceae, which account for 52.3% of the species. In the Forest Experimental Station, 11 species of vascular plants listed in the Red Book of Moscow were identified. The fraction of adventitious vascular plants in the flora of the Forest Experimental Station includes 99 species (28.1% of the total number of identified species), belonging to 66 genera and 34 families. Among the families of the adventitious fraction, the most multispecies are Rosaceae (22 species), Aceraceae (10 species), Asteraceae (7 species), Pinaceae (7 species). The proportion of adventitious species does not exceed 30%, so the flora should be considered natural, slightly disturbed. Despite the high level of recreation, pollution from road transport, the plant communities of the Forest Experimental Station continue to retain signs of a natural object that correspond to the natural conditions of the Moscow region.

Keywords: flora, biodiversity, taxonomic analysis, vascular plants, Moscow

Format of citation: Dubenok N.N., Lebedev A.V., Mironova G.M., Gostev V.V. Taxonomical analysis of the flora of vascular plants in the Forest experimental station of the Timiryazev academy // *Prirodobustroystvo*. 2023. No. 1. S. 108-114. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-108-114.

Введение. На современном этапе к важнейшим экологическим вопросам относится проблема сохранения биологического разнообразия, которая особенно актуальна для естественных природных ландшафтов, расположенных в урбанизированных условиях. Во многих исследованиях показано [1-4], что на антропогенно трансформированных, в том числе урбанизированных территориях, региональная флора имеет специфические характеристики. Тем самым она адаптируется к комплексу изменяющихся в пространстве и во времени факторов окружающей среды. Это относится и к покрытым лесом территориям, где в результате антропогенного воздействия в состав растительных сообществ внедряются опушечно-луговые, сорные и синантропные виды, которые со временем натурализуются и вытесняют аборигенные виды [5, 6].

Покрытые лесом площади урбанизированных территорий выполняют важные климаторегулирующие, санитарно-гигиенические, рекреационные, эстетические и другие полезные функции [7]. Но несмотря на высокий уровень антропогенного воздействия, в границах Москвы сохранились типичные для зоны хвойно-широколиственных лесов природные комплексы, которые имеют большую научную, культурную и рекреационную ценность. Они занимают более 10-15% площади города. К одному из таких лесных массивов на территории Москвы относится Лесная опытная дача Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Первые сведения о флоре Лесной опытной дачи были приведены М.К. Турским в 1893 г. [8]. В конце XIX – начале XX вв. более 90% видов

сосудистых растений относилось к аборигенной флоре. В сомкнутых насаждениях преобладающими были лесные виды, а в разреженных и нарушенных значительную долю занимали луговые. Через 100 лет было отмечено замещение типичных лесных видов на луговые и сорные, в том числе в высокополнотных насаждениях, значительно возросло количество адвентивных видов [8, 9]. На протяжении последних 20 лет флористические исследования в Лесной опытной даче практически не проводились, поэтому актуальные данные о трансформации флоры отсутствуют.

Заключительным этапом инвентаризации флоры является проведение таксономического анализа, что позволяет определить уровень видового богатства, выявить разнообразие отдельных таксонов и видовую насыщенность в целом [10, 11]. По мнению А.И. Толмачева, соотношение числа видов в семействах, особенно в ведущих, является «одним из существеннейших элементов региональной характеристики флоры» [12].

Цель исследований: анализ таксономической структуры флоры сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии (г. Москва).

Материалы и методы исследований. Лесная опытная дача Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева расположена в Северном административном округе Москвы. Ее площадь составляет 248,7 га, в том числе лесопокрытая – 233,4 га (93,8%). Первое лесоустройство Лесной опытной дачи проведено в 1863 г. А.Р. Варгасом де Бедемаром, после чего начались проведение лесохозяйственных мероприятий и закладка лесоводственных опытов. В настоящее время в лесном фонде преобладающими являются насаждения сосны, лиственницы, березы и дуба, большая часть из которых относится к спелым и перестойным [13]. Почвенный покров представлен

дерново-подзолистыми почвами, различающимися по степени проявления дернового, подзолистого и глеевого процессов [14].

Материалы для формирования актуального флористического списка Лесной опытной дачи получены во время инвентаризаций постоянных пробных площадей за период с 2000 по 2022 гг., а также маршрутных обследований территории в 2019-2022 гг. Обследованы все 14 кварталов Лесной опытной дачи на площади 248,7 га. Кроме того, использована выгрузка по сосудистым растениям из Глобальной информационной системы о биоразнообразии (GBIF) с 2000 г. [15], основу которой составили наблюдения, полученные с платформы iNaturalist [16]. Классификация растений принята по А. Энглеру в редакции «Флоры СССР». Названия видов выверены по С.К. Черепанову [17]. Подразделение видов сосудистых растений на аборигенные и адвентивные производилось с учетом аннотированного списка из монографии «Адвентивная флора Москвы и Московской области» [18].

Результаты и их обсуждение. Актуальный флористический список сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии насчитывает 352 вида, которые относятся к 202 родам и 68 семействам, входящих в 5 классов (*Equisetopsida*, *Polypodiopsida*, *Pinopsida*, *Liliopsida*, *Magnoliopsida*) и 4 отдела (*Equisetophyta*, *Polypodiophyta*, *Pinophyta*, *Magnoliophyta*). К наиболее представленному относится отдел *Magnoliophyta* (329 вида, или 94%). По данным литературы [19], флора Москвы включает в себя 1647 видов сосудистых растений, которые относятся к 640 родам и 136 семействам.

Таким образом, Лесная опытная дача является важным объектом сохранения и поддержания биологического разнообразия на покрытых лесом территориях города, а количество видов сосудистых растений составляет примерно 1/5 часть флоры Москвы.

Наиболее крупные семейства во флоре Лесной опытной дачи представлены в таблице 1. Они включают в себя 117 родов (57,9%) и 212 видов (60,2%). Самыми крупными таксонами являются семейства *Rosaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Lamiaceae*, *Cyperaceae*, на которые приходится 52,3% видов.

Ведущее место во флоре занимает семейство *Poaceae*, представленное 45 видами, или 12,8% от общего числа видов. Второе место занимает семейство *Asteraceae*, включающее в себя 34 вида (9,7%). Видовое преобладание этих семейств во флоре характеризует ее как континентальную. Их доминирующее положение достигается за счет значительного числа родов, входящих в эти семейства (20 и 24 рода соответственно) во флоре Лесной опытной дачи. На третьем месте



Рис. 1. Расположение Лесной опытной дачи
Fig. 1. Location of the Forest experimental station

Таблица 1. Спектр ведущих семейств флоры Лесной опытной дачи
Table 1. Spectrum of the flora leading families of the Forest experimental station

Семейство Family	Ранг Rank	Количество родов Number of genera	% от всех родов % of all genera	Количество видов Number of species	% от всех видов % of all species
<i>Rosaceae</i>	1	20	9,9	45	12,8
<i>Asteraceae</i>	2	24	11,9	34	9,7
<i>Poaceae</i>	3	14	6,9	22	6,3
<i>Lamiaceae</i>	4	15	7,4	18	5,2
<i>Cyperaceae</i>	5	2	1,0	13	3,7
<i>Brassicaceae</i>	6-9	8	4,0	11	3,2
<i>Fabaceae</i>	6-9	6	3,0	11	3,2
<i>Aceraceae</i>	6-9	1	0,5	11	3,2
<i>Apiaceae</i>	6-9	11	5,4	11	3,2
<i>Pinaceae</i>	10-13	6	3,0	9	2,6
<i>Salicaceae</i>	10-13	2	1,0	9	2,6
<i>Polygonaceae</i>	10-13	3	1,5	9	2,6
<i>Ranunculaceae</i>	10-13	5	2,0	9	2,6

находится семейство *Poaceae*, насчитывающее 22 вида (6,3%). Кроме того, насчитывается 24 семейства, которые представлены только одним видом. К ним относятся *Adoxaceae*, *Alismataceae*, *Amaryllidaceae*, *Apocynaceae*, *Aristolochiaceae*, *Begoniaceae*, *Cannabaceae*, *Convolvulaceae*, *Crassulaceae*, *Cupressaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fumariaceae*, *Hippocastanaceae*, *Hostaceae*, *Hypericaceae*, *Iridaceae*, *Menyanthaceae*, *Orchidaceae*, *Papaveraceae*, *Plantaginaceae*, *Trilliaceae*, *Typhaceae*, *Urticaceae*, *Valerianaceae*.

Ведущими в родовом спектре являются первые 20 родов, которые объединяют 97 видов, что соответствует 27,6% флоры Лесной опытной дачи (табл. 2). На остальные 97 родов приходится 255 видов (72,4%). Крупнейшими родами во флоре Лесной опытной дачи являются *Carex* (12 видов), *Acer* (11 видов) и *Salix* (8 видов). Родовой коэффициент (отношение числа выявленных видов к количеству родов) составляет 1,74, что объясняется низким разнообразием местообитаний (более 95% территории покрыта лесом) и однотипностью условий (дерново-подзолистые почвы с разной интенсивностью проявления дернового и подзолистого процессов).

Фракция адвентивных сосудистых растений во флоре Лесной опытной дачи насчитывает 99 видов, относящихся к 66 родам и 34 семействам (табл. 3). Таким образом, адвентивная флора составляет 28,1% от общего количества выявленных видов. Среди семейств адвентивной фракции наиболее многовидовыми являются *Rosaceae* (22 вида), *Aceraceae* (10 видов), *Asteraceae* (7 видов), *Pinaceae* (7 видов). Значимым является участие таких семейств, как *Apiaceae* (4 вида), *Berberidaceae* (3 вида), *Caprifoliaceae* (3 вида), *Grossulariaceae* (3 вида), *Juglandaceae* (3 вида), *Oleaceae* (3 вида). Лидирующая роль таких семейств, как *Rosaceae*, *Aceraceae*, *Pinaceae*,

Таблица 2. Ведущие роды флоры Лесной опытной дачи

Table 2. Leading genera of the flora of the Forest experimental station

Род Genus	Число видов Number of species	% от всех видов % of all species
<i>Carex</i>	12	3,41
<i>Acer</i>	11	3,13
<i>Salix</i>	8	2,27
<i>Geum</i>	6	1,70
<i>Poa</i>	6	1,70
<i>Polygonum</i>	6	1,70
<i>Viola</i>	6	1,70
<i>Galium</i>	5	1,42
<i>Ranunculus</i>	5	1,42
<i>Crataegus</i>	4	1,14
<i>Epilobium</i>	4	1,14
<i>Equisetum</i>	4	1,14
<i>Juncus</i>	4	1,14
<i>Malus</i>	4	1,14
<i>Potentilla</i>	4	1,14
<i>Rubus</i>	4	1,14
<i>Trifolium</i>	4	1,14

Berberidaceae, *Oleaceae*, связана с проведением в Лесной опытной даче экспериментов по интродукции древесно-кустарниковых растений [8, 20], с посадками, осуществляемыми жителями близрасположенных районов, и уходом из культурой.

Ведущие роды адвентивной флоры Лесной опытной дачи представлены в таблице 4. Доминирующее положение занимает род *Acer*, включающий в себя 10 видов (10,1%): *Acer barbinerve* Maxim., *A. campestre* L., *A. negundo* L., *A. pennsylvanicum* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. pseudosieboldianum* (Paxton) Kom., *A. saccharum* L., *A. sieboldianum* Miq., *A. tataricum* L., *A. tegmentosum* Maxim. На втором и третьем местах находятся роды *Crataegus* и *Malus*, которые включают в себя по 4 вида (4,0%). К первому из них относятся такие виды, как

Таблица 3. Спектр ведущих семейств адвентивной флоры Лесной опытной дачи
Table 3. Spectrum of leading families of the adventitious flora of the Forest experimental station

Семейство Family	Ранг Rank	Количество родов Number of genera	% от всех родов % of all genera	Количество видов Number of species	% от всех видов % of all species
<i>Rosaceae</i>	1	13	19,7	22	22,2
<i>Aceraceae</i>	2	1	1,5	10	10,1
<i>Asteraceae</i>	3-4	5	7,6	7	7,1
<i>Pinaceae</i>	3-4	5	7,6	7	7,1
<i>Apiaceae</i>	5	4	6,1	4	4,0
<i>Berberidaceae</i>	6-10	2	3,0	3	3,0
<i>Caprifoliaceae</i>	6-10	2	3,0	3	3,0
<i>Grossulariaceae</i>	6-10	2	3,0	3	3,0
<i>Juglandaceae</i>	6-10	2	3,0	3	3,0
<i>Oleaceae</i>	6-10	2	3,0	3	3,0

Crataegus flabellata (Bosc ex Spach) C. Koch, *C. monogyna* Jacq., *C. sanguinea* Pall., *C. submollis* Sarg., а ко второму – *Malus x astracanica* hort. ex Dum. – Cours., *M. domestica* Borkh., *M. prunifolia* (Willd.) Borkh., *M. x robusta* (Carr.) Rehder. Три вида (3,0%) насчитывает род *Symphytotrichum* (*Symphytotrichum novi-belgii* (L.) G.L. Nesom, *S. x salignum* (Willd.) G.L. Nesom, *S. x versicolor* (Willd.) G.L. Nesom). Остальные, представленные в таблице 4 роды, включают в себя по два вида (2,0%).

На территории Лесной опытной дачи отмечены 11 видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу г. Москвы [21] и относящихся к следующим семействам: *Amaryllidaceae* (*Allium ursinum* L.), *Apiaceae* (*Sanicula europaea* L.), *Asteraceae* (*Leucanthemum vulgare* Lam.), *Campanulaceae* (*Campanula patula* L., *Campanula latifolia* L.), *Caryophyllaceae* (*Coronaria flos-cuculi* (L.) A. Br.), *Convallariaceae* (*Convallaria majalis* L.), *Fabaceae* (*Lathyrus vernus* (L.) Bernh.), *Iridaceae* (*Iris pseudacorus* L.), *Ranunculaceae* (*Anemone ranunculoides* L.) и *Rosaceae* (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.).

Пространственное распределение краснокнижных видов, по данным GBIF (2017-2022 гг.), источником поступления которых послужила платформа iNaturalist (проект «Флора России» [16]), представлено на рисунке 2. Наиболее часто наблюдатели фиксируют *Sanicula europaea* L. (находки отмечены в 5, 7, 10, 11 и 13 кварталах) и *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. (находки отмечены в 3, 6, 7 и 11 кварталах). Только в первом квартале вдоль русла реки Жабенки отмечен вид *Campanula latifolia* L.

Рассматривая преобладающие виды сосудистых растений по компонентам лесных насаждений, можно отметить, что древостои формируют главным образом *Pinus sylvestris* L., *Larix decidua* Mill., *L. sibirica* Ledeb., *Picea abies* (L.) Karst., *Betula pendula* Roth, *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., *Ulmus laevis* Pall. В подлеске наиболее часто встречаются *Corylus avellana* L., *Sorbus aucuparia* L., *Padus racemosa* (Lam.) Gilib.,

Таблица 4. Ведущие роды адвентивной флоры Лесной опытной дачи

Table 4. Leading genera of the adventitious flora of the Forest experimental station

Род Genus	Число видов Number of species	% от всех видов % of all species
<i>Acer</i>	10	10,1
<i>Crataegus</i>	4	4,0
<i>Malus</i>	4	4,0
<i>Symphytotrichum</i>	3	3,0
<i>Amelanchier</i>	2	2,0
<i>Cerasus</i>	2	2,0
<i>Cornus</i>	2	2,0
<i>Euonymus</i>	2	2,0
<i>Impatiens</i>	2	2,0
<i>Juglans</i>	2	2,0
<i>Larix</i>	2	2,0
<i>Lonicera</i>	2	2,0
<i>Mahonia</i>	2	2,0
<i>Pinus</i>	2	2,0
<i>Prunus</i>	2	2,0
<i>Ribes</i>	2	2,0
<i>Symphytum</i>	2	2,0
<i>Syringia</i>	2	2,0
<i>Tilia</i>	2	2,0
<i>Ulmus</i>	2	2,0

Euonymus verrucosa Scop., *Lonicera xylosteum* L., *Rubus idaeus* L., *Frangula alnus* Mill. Как отмечается многими исследователями [8, 22], в условиях Лесной опытной дачи затруднено естественное возобновление хвойных древесных пород. Поэтому в подросте доминирующее положение занимают такие виды, как *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *Ulmus laevis* Pall., *Quercus robur* L. В живом напочвенном покрове насаждений во всех кварталах Лесной опытной дачи обильно встречаются *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv., *Carex pilosa* Scop., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Convallaria majalis* L., *Asarum europaeum* L., *Stellaria holostea* L., *Fragaria vesca* L., *Geum urbanum* L., *Aegopodium podagraria* L., *Viola riviniana* Reichenb., *Lysimachia vulgaris* L., *Ajuga reptans* L.,

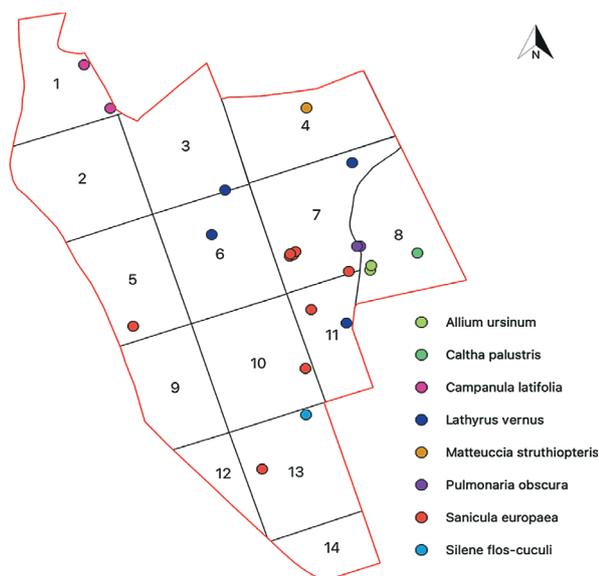


Рис. 2. Пространственное распределение сосудистых растений, включенных в Красную книгу Москвы

Fig. 2. Spatial distribution of vascular plants included in the Red Book of Moscow

Glechoma hederacea L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Solidago virgaurea* L. и др.

Таким образом, выполненный таксономический анализ современной флоры Лесной опытной дачи подтверждает ранее проведенные исследования Ю.В. Демидова [9]: по соотношению между аборигенными и адвентивными видами биогеоценозы можно рассматривать как устойчивые к сложившемуся уровню антропогенной нагрузки. Доля адвентивных видов во флоре составляет

Список использованных источников

1. Капитонова О.А. Гидрофильная флора урбанизированных территорий Вятско-Камского Предуралья (на примере городов Удмуртской Республики) // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН. 2021. № 93 (96). С. 7-25. DOI 10.47021/0320-3557-2021-7-25.
2. Фомина О.В., Тохтарь В.К. Анализ адвентивной фракции антропогенно трансформированных флор в урбанизированной среде Юга Среднерусской возвышенности // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Естественные науки». 2012. № 3(122). С. 66-73.
3. Завидовская Т.С., Ларионов М.В., Сираева И.С. Сравнительная характеристика систематической структуры естественных и урбанизированных флор Юго-Востока Европейской России // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 3. С. 139.
4. Бордей Р.Х. Флора урбанизированной среды и ее особенности (на примере города Сургута) // Проблемы региональной экологии. 2014. № 4. С. 7-13.
5. Назаренко Н.Н., Новгородова М.Д. Эколого-ценологическая структура растительности памятника природы «Челябинский городской бор» // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8, № 2(27). С. 38-44. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-12107.
6. Чиндяева Л.Н., Беланова А.П., Киселева Т.И. Особенности естественного возобновления чужеродных видов древесных растений в условиях Новосибирска // Российский журнал биологических инвазий. 2018. Т. 11, № 2. С. 90-107.

28,1%, что позволяет считать ее естественной и слабонарушенной. Поэтому несмотря на высокий уровень рекреации, загрязнений от автомобильного транспорта, растительные сообщества Лесной опытной дачи продолжают сохранять признаки естественного объекта, которые соответствует природным условиям Московского региона.

Выводы

Исследования показали, что актуальный флористический список сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии насчитывает 352 вида, относящихся к 202 родам и 68 семействам, входящих в 5 классов. Крупнейшими таксонами являются семейства *Rosaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Lamiaceae*, *Cyperaceae*, на которые приходится 52,3% видов. Фракция адвентивных сосудистых растений во флоре Лесной опытной дачи насчитывает 99 видов (28,1% от общего количества выявленных видов), относящихся к 66 родам и 34 семействам. Среди семейств адвентивной фракции наиболее многовидовыми являются *Rosaceae* (22 вида), *Aceraceae* (10 видов), *Asteraceae* (7 видов), *Pinaceae* (7 видов).

Кроме того, в Лесной опытной даче выявлено 11 видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Москвы. Несмотря на высокий уровень рекреации, загрязнений от автомобильного транспорта, растительные сообщества Лесной опытной дачи продолжают сохранять признаки естественного объекта, которые соответствует природным условиям Московского региона.

References

1. Kapitonova O.A. Gidrofilnaya flora urbanizirovannykh territorij Vyatsko-Kamskogo Predural'ya (na primere gorodov Udmurtskoj Respubliki) // Trudy Instituta biologii vnutrennykh vod im. I.D. Papanina RAN. 2021. № 93(96). S. 7-25. – DOI 10.47021/0320-3557-2021-7-25.
2. Fomina O.V., Tohtar V.K. Analiz adventivnoj fraktsii antropogenno transformirovannykh flor v urbanizirovannoj srede Yuga Srednerusskoj vozvyshehnosti // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. 2012. № 3(122). S. 66-73.
3. Zavidovskaya T.S., Larionov M.V., Siraeva I.S. Sravnitel'naya harakteristika sistematičeskoj struktury estestvennykh i urbanizirovannykh flor Yugo-Vostoka Evropejskoj Rossii // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2017. № 3. S. 139.3
4. Bordej R.H. Flora urbanizirovannoj sredy i ee osobennosti (na primere goroda Surguta) // Problemy regionalnoj ekologii. 2014. № 4. S. 7-13.
5. Nazarenko N.N., Novgorodova M.D. Ekologo-tsenoticheseskaya struktura rastitelnosti pamyatnika prirody "Chelyabinskij gorodskoj bor" // Samarskij nauchnyj vestnik. 2019. T. 8. № 2(27). S. 38-44. – DOI 10.24411/2309-4370-2019-12107.
6. Chindyaeva L.N., Belanova A.P., Kiseleva T.I. Osobennosti estestvennogo vozobnovleniya chuzherodnykh vidov drevesnykh rastenij v usloviyah Novosibirska // Rossijskij zhurnal biologičeskikh invazij. 2018. T. 11. № 2. S. 90-107.
7. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized

7. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized environment of Moscow // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2019. Vol. 14, No 2. Pp. 154-161.

8. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии: монография. М.: Наука, 2020. 382 с.

9. Демидов Ю.В. Травяной напочвенный покров Лесной опытной дачи // Известия ТСХА. 2006. № 3. С. 120-128.

10. Гаращенко А.В. К характеристике флоры Чарской котловины (Становое нагорье) // Флора Прибайкалья. Новосибирск, 1978. С. 243-312.

11. Лебедев А.В., Крилицын И.Г., Гостев В.В. Таксономическая структура флоры сосудистых растений заповедника «Кологривский лес» // Природообустройство. 2022. № 3. С. 115-121. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-115-121.

12. Толмачев А.И. Введение в географию растений: учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1974. 244 с.

13. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Динамика лесного фонда лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за 150 лет // Известия ТСХА. 2018. № 4. С. 5-19.

14. Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2019. № 4. С. 5-18. DOI: 10.34677/0021-342-2019-4-5-18.

15. GBIF.org (06December 2022). GBIF Occurrence Download. DOI: 10.15468/dl.nje3ma.

16. Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. et al. Flora of Russia on iNaturalist: a dataset // Biodiversity Data Journal. 2020. Vol. 8.e59249. DOI: 10.3897/BDJ.8.e59249.

17. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) // Санкт-Петербург: Мир и семья-95, 1995. 990 с.

18. Майоров С.Р., Адвентивная флора Москвы и Московской области. / Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербakov А.В. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 412 с.

19. Швецов А.Н. Дикорастущая флора города Москвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 23 с.

20. Эйтинген Г.Р. Лесная опытная дача 1865-1945: М.: Государственное лесотехническое издательство, 1946. 176 с.

21. Красная книга города Москвы / Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы; Отв. ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2011. 927 с.

22. Лебедев А.В., Гемонов А.В., Волков С.Н. и др. Естественное возобновление в смешанных разновозрастных древостоях на урбанизированных территориях Москвы // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2022. № 4(54). С. 35-40. DOI 10.32935/2221-7312-2022-54-4-35-40.

Критерии авторства

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Миронова Г.М., Гостев В.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 21.12.2022

Одобрена после рецензирования 09.01.2023

Принята к публикации 16.01.2023

environment of Moscow // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2019. Vol. 14. No 2. P. 154-161. – DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-2-154-161.

8. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Rezultaty eksperimentalnykh rabot za 150 let v Lesnoy opytnoy dache Timiryazevskoy selskokozyajstvennoy akademii. M.: Nauka, 2020. 382 s.

9. Demidov Yu.V. Travyanoj napochvennyj pokrov Lesnoj opytnoj dachi // Izvestiya Timiryazevskoy selskokozyajstvennoy akademii. 2006. № 3. S. 120-128.

10. Garashchenko A.V. K karakteristike flory Charskoj kotloviny (Stanovoe nagorje) // Flora Pribajkalija. Novosibirsk: 1978. S. 243-312.

11. Lebedev A.V., Krinitsyn I.G., Gostev V.V. Taksonomicheskaya struktura flory sosudistykh rastenij zapovednika "Kologrivskij les" // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 3. S. 115-121. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-115-121.

12. Tolmachev A.I. Vvedenie v geografiyu rastenij. L.: Izd-vo Leningradskogo universiteta, 1974. 244 s.

13. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Dinamika lesnogo fonda lesnoj opytnoj dachi RGAU-MSHA imeni K.A. Timiryazeva za 150 let // Izvestiya Timiryazevskoy selskokozyajstvennoy akademii. 2018. № 4. S. 5-19. – DOI: 10.26897/0021-342X-2018-4-5-19.

14. Naumov V.D. Otsenka gumusovogo sostoyaniya dernovo-podzolistykh pochv Lesnoj opytnoj dachi RGAU-MSHA imeni K.A. Timiryazeva / N.L. Povetkina, A.V. Lebedev, A.V. Gemonov // Izvestiya Timiryazevskoy selskokozyajstvennoy akademii. 2019. № 4. S. 5-18. – DOI: 10.34677/0021-342-2019-4-5-18.

15. GBIF.org (06December 2022) GBIF Occurrence Download. – DOI: 10.15468/dl.nje3ma.

16. Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. et al. Flora of Russia on iNaturalist: a dataset // Biodiversity Data Journal, 2020. Vol. 8.e59249. – DOI: 10.3897/BDJ.8.e59249.

17. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv (v predelax byvshego SSSR) // Sankt-Peterburg: Mir i semiya-95, 1995. 990 s.

18. Majorov S.R. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti / V.D. Bochkina, Yu.A. Nasimovich, A.V. Shcherbakov. – M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012. 412+120 (tsv.) s.

19. Shvetsov A.N. Dikorastushchaya flora goroda Moskvy: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.05 – Botanika / Shvetsov Aleksandr Nikolaevich. – Moskva, 2008. – 23 s.

20. Ejtingen G.R. Lesnaya opytная dacha 1865-1945. M.: Gosudarstvennoe lesotekhnicheskoe izdatelstvo, 1946. 176 s.

21. Krasnaya kniga goroda Moskvy` / Pravitelstvo Moskvy, Departament prirodoopolzovaniya i ohrany` okruzhayushchej sredy` g. Moskvy`; otv. red. B.L. Samojlov, G.V. Morozova. 2-e izd., pererab. i dop. M: 2011. 927 s.

22. Lebedev A.V. Estestvennoe vozobnovlenie v smeshannykh raznovozrastnykh drevostoyah na urbanizirovannykh territoriyah Moskvy / A.V. Lebedev, A.V. Gemonov, S.N. Volkov i dr. // Teoreticheskie i prikladnye problemy agroproyshlennogo kompleksa. 2022. № 4(54). S. 35-40. – DOI: 10.32935/2221-7312-2022-54-4-35-40.

Criteria of authorship

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Mironova G.M., Gostev V.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Contribution of authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 21.12.2022

Approved after reviewing 09.01.2023

Accepted for publication 16.01.2023

Оригинальная статья

УДК 630*(571.6)

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-115-121



ОСВОЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ ЛЕСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Ковалев Александр Петрович, д-р с.-х. наук, профессор

ORCID: 0000-0003-2179-6725; РИНЦ ID: 345007; a.p.kovalev51@mail.ru

Громыко Оксана Сергеевна ✉, канд. биол. наук, старший научный сотрудник

ORCID: 0000-0001-9086-7959; РИНЦ ID: 1018456; estraid@yandex.ru

Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства; 680020, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Волочаевская, 71, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучение состояния дальневосточных лесов, причин их деградации и определение дальнейших усилий по стабилизации и улучшению качества лесного фонда на перспективу. Воздействие лесозаготовок на различные компоненты лесных ценозов оценивалось на пробных площадях по показателям сохранности древостоев, почвы и естественного возобновления леса. Приводятся основные показатели лесного фонда Дальнего Востока. Большая часть лесов региона выполняет преимущественно защитные и эколого-стабилизирующие функции. На долю насаждений, пригодных для промышленной эксплуатации, приходится не более 40% всех лесных территорий Дальневосточного округа. Лесной фонд крайне деконцентрирован, лучшие лесные массивы сосредоточены в южной и центральной частях региона, преимущественно в долине р. Амура и ее крупных притоков: рек Усури, Зеи, Буреи и озера Байкал. В настоящее время промышленно доступные леса в большинстве своем уже освоены и представляют собой расстроенные низко- и среднепродуктивные древостои III и IV классов бонитета со средним запасом немногим более 100 м³/га. Основные причины, вызвавшие деградацию лесов, связаны с промышленными рубками и пожарами. Преобладающие в Дальневосточном федеральном округе сплошнолесосечные рубки и последовавшие за ними лесные пожары приводят не только к огромным потерям древесной массы, но и к существенному ухудшению экологической среды для животного и растительного сообществ. Ежегодная площадь, пройденная огнем, колеблется от 1,5 до 1,8 млн га с потерей запаса древесины свыше 100 млн м³. Попытки восполнить данные потери лесокультурными методами практически не имеют успеха. Созданные лесные культуры в большинстве своем погибают от лесных пожаров в первые 5-10 лет после посадки. До возраста приспевания доживают не более 5% всех созданных искусственных посадок. Для воспроизводства дальневосточных лесов необходим переход на выборочную систему рубок, позволяющую сохранить лесную среду и постоянство покрытия лесом площади, а также эффективные меры по защите лесов от пожаров. Естественное восстановление лесов благодаря высокому возобновительному потенциалу протекает в основном успешно, хотя иногда и через смену пород.

Ключевые слова: лесной фонд, лесозаготовка, лесные пожары, лесные формации, расчетная лесосека, естественное лесовосстановление

Формат цитирования: Ковалёв А.П., Громыко О.С. Освоение и состояние лесов Дальнего Востока // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 1. S. 115-121. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-115-121.

© Ковалев А.П., Громыко О.С., 2023

Original article

DEVELOPMENT AND CONDITION OF FORESTS OF THE FAR EAST

Kovalev Alexander Petrovich, doctor of agricultural sciences, professor

ORCID: 0000-0003-2179-6725; РИНЦ ID: 345007; a.p.kovalev51@mail.ru

Gromyko Oksana Sergeevna ✉, candidate of biological sciences, senior researcher

ORCID: 0000-0001-9086-7959; РИНЦ ID: 1018456; estraid@yandex.ru

Far Eastern Research Institute of Forestry; 680020, Khabarovsk Krai, Khabarovsk, Volochaevskaya str., 71, Russia

Annotation. The aim of the study is to examine the state of the Far Eastern forests, causes of their degradation and to identify further efforts to stabilize and improve the quality of the forest fund

for the foreseeable future. The methodological basis comprises of silvicultural and ecological methods for assessing the impact of various factors on the components of forest cenoses with the establishment of sample plots. The main characteristics of the forest fund of the Far East are provided in the study. It has been established that the region's forests have predominantly protective and ecologically stabilizing functions. Plantations suitable for industrial exploitation account for less than 40% of the total forest area in the Far Eastern Federal District. The forest fund is highly deconcentrated, with the best forest areas located in the southern and central parts of the region, mainly in the valley of the Amur River and its major tributaries – the Ussuri, Zeya, Bureya rivers and Lake Baikal. At present, the majority of industrially accessible forests has already been developed and consists of disturbed low and medium productive forest stands of grade III and IV bonitet with an average reserve of just over 100 m³/ha. The main causes leading to forest degradation are associated with industrial logging and fires. The clear felling most abundant here and subsequent forest fires have resulted in enormous losses of timber mass. The annual area affected by fire ranges from 1.5 to 1.8 million ha with a loss of over 100 million m³ of forest reserves. Attempts to compensate for the loss of forests through reforestation have been largely unsuccessful. Most of the established forest crops die from forest fires in the first 5 to 10 years after planting. Less than 5% of all artificial plantations survive to maturity. The regeneration of Far East forests requires a transition to a selective logging system and effective measures to protect forests from fires. Natural regeneration of forests, due to their high regenerative potential, is mostly successful, although sometimes through species change.

Keywords: forest fund, forest exploitation, forest fires, forest formations, estimated cutting area, natural reforestation

Format of citation: Kovalev A.P., Gromyko O.S. Development and condition of forests of the Far East // Prirodoobustrojstvo. 2023. No.1. S. 115-121. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-115-121.

Введение. Наличие огромных лесных ресурсов на территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) предопределяет главную задачу по ведению лесного хозяйства на принципах неистощительного и непрерывного пользования лесом. Однако сложившаяся в лесах Дальнего Востока ситуация ни в коей мере не следует этим принципам. Экстремальные климатические и лесорастительные условия не обеспечивают здесь благоприятную среду для формирования высокопродуктивных и привлекательных для лесозаготовки лесов. На территории преобладают средне- и низкбонитетные насаждения, формирующиеся в большинстве своем на мелко-скелетных и часто длительномерзлотных почвах. На долю эксплуатационного фонда приходится не более 40% от общей лесопокрытой площади региона, освоение которого производится преимущественно сплошными и подневольными выборочными рубками.

В настоящее время сплошнолесосечная система лесозаготовки привела к существенному истощению основных лесных формаций. Значительно уменьшилась площадь кедрово-широколиственных и елово-пихтовых лесов. Средний запас в них снизился со 158 до 100 м³/га [1]. Не способствуют улучшению состояния лесного фонда и частые лесные пожары, которые возникают на территории (свыше 1,5 млн га ежегодно).

Истощительный подход к ведению лесного хозяйства в Дальневосточном регионе привел к существенной деградации лесов, снижению их

экологического и промышленного потенциала, потерям больших запасов древесины ценных пород. В этих условиях воспроизводство лесов во многом зависит от качественного хозяйствования в лесном фонде, смены приоритетов при проведении рубок и приемов содействия естественному восстановлению хозяйственно-ценных лесов. Особенно важными при лесозаготовке являются обеспечение выборочной системы рубок и применение экологических лесосечных машин, способствующих сохранению лесной среды и воспроизводству лесов на всей пройденной рубкой площади. В этой связи основными целями наших исследований работы являлись изучение состояния дальневосточных лесов и причин их деградации, определение дальнейших усилий по стабилизации и улучшению качества лесного фонда на перспективу.

Материалы и методы исследований.

В качестве объекта исследований использовались лесной фонд Дальневосточного региона и основные лесные формации, в него входящие. Исходными данными при выполнении работ являлись материалы Государственного реестра и учета лесного фонда за последние 20 лет, Лесной кодекс РФ, Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в ст. 23 Лесного кодекса РФ, и иные действующие нормативные документы по лесопользованию, лесные планы субъектов и материалы их официальных сайтов, лесохозяйственные регламенты лесничеств.

В основу методических подходов при сборе данных положены лесоводственно-экологические методы для оценки воздействия различных факторов на компоненты лесных ценозов с закладкой пробных площадей [1-5]. На пробных площадях изучались состояние и таксационные показатели насаждений до рубки и после проведения лесосечных работ, а также древесина, оставленная в недорубах, спиленная и брошенная у пня, вываленная и раздавленная гусеницами тракторов. Учет брошенной древесины и порубочных остатков осуществлялся путем их обмера (длины и диаметра) на всей площади пробных площадей.

Результаты и их обсуждение. По охвату территории Дальневосточный федеральный округ является крупнейшим лесным регионом Российской Федерации. На его долю приходится около 45% лесной площади нашей страны. Он занимает покрытые лесной растительностью земли площадью свыше 510 млн га, а общий запас древесины достигает 23,8 млрд м³. Чуть более 2/3 этой территории занято хвойными лесами с преобладанием лиственницы, ели, пихты, сосны и кедра. Столь впечатляющие цифры площадей и запасов лесного фонда не говорят о неисчерпаемости лесных ресурсов и возможностях непрерывного его использования.

Необходимо отметить, что в эксплуатационном плане дальневосточные леса малопривлекательны. Суровый климат (снежный покров в течение около 6 мес.), наличие множества рек и ключей, крутые склоны, неравномерное распределение качественных лесных ресурсов, большие запасы низкосортной древесины существенно затрудняют процесс лесозаготовок и требуют дополнительных затрат труда, вложения средств

в лесоэксплуатацию. Около 50% лесов формируются на длительномерзлотных почвах.

В целом более 60% лесосечного фонда приходится на защитные, низкобонитетные и низкополнотные леса, а также на насаждения, произрастающие на склонах свыше 30°, и леса, где запрещены промышленные рубки (рис. 1). Возможные для заготовки древесины леса сосредоточены преимущественно в уже освоенных территориях и представлены низко- и среднепроизводительными древостоями. Применение куртинно-групповых приемов заготовки наиболее продуктивных древесных ресурсов ведет к существенному увеличению расстроенных насаждений с полнотой 0,3-0,4. На долю высокополнотных древостоев приходится не более 18-20%. Среднепродуктивные насаждения занимают около 30-40%, остальные – это древостои V класса бонитета с запасом до 100 м³/га.

Около 10% наиболее ценных кедровых и чернопихтовых лесов изъяты из эксплуатации вследствие интенсивных рубок и последовавших за ними лесных пожаров. Их площадь сократилась практически вдвое, а запас уменьшился почти на 80% [6, 7]. Несмотря на более чем 30-летний период, после запрета в них промышленных рубок, хотя и незначительно, но продолжается сокращение площадей этих формаций. Этому способствуют заготовки древесины в производных кедровниках, которые после вырубке кедра перешли в другие формации хвойно-широколиственных лесов: еловые, березовые, дубовые и пр., где уже разрешены сплошнолесосечные рубки. После таких рубок воспроизводство насаждений с преобладанием кедра корейского и пихты цельнолистной замедляется и растягивается на столетия.

Попытки способствовать восстановлению кедрово-широколиственных лесов искусственными

посадками кедра и пихты цельнолистной не всегда оправданы, поскольку требуют больших затрат на выращивание посадочного материала, создание лесных культур, в большинстве своем путем реконструкции лиственных молодняков, ухода за ними и длительного срока выращивания спелых древостоев (до 160 лет).

В большинстве дальневосточных регионов существенно истощена елово-пихтовая формация. Интенсивные лесозаготовки привели к сокращению площади спелых и перестойных еловых

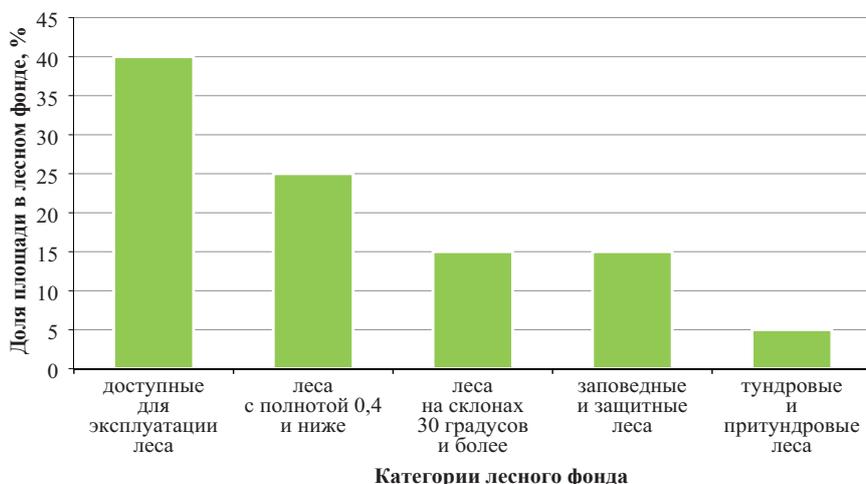


Рис. 1. Ранжирование площади лесов Дальнего Востока по категориям лесного фонда

Fig. 1. Ranking of the forest area of the Far East by categories of the forest fund

древостоев: от 10% в Приморском крае и Республике Бурятия до 50% в Хабаровском крае. Объем заготавливаемой древесины уменьшился более чем на 55%. Большинство вырубок елово-пихтовых лесов возобновляется лиственными породами, березой и осиной, а воспроизводство ели и пихты происходит через смену пород, что существенно замедляет восстановление коренных насаждений.

Лиственничники и сосняки, благодаря успешному естественному возобновлению на вырубках за 20-летний период, не претерпели существенных изменений, сохранив свои территории, однако доля спелых и перестойных древостоев уменьшилась почти на 27%. Большинство лиственничников (свыше 50%) слабо привлекательно в плане лесозаготовки, поскольку имеет исходную полноту 0,3-0,4 и древесный запас до 70 м³/га. Успешная конкуренция естественного возобновления сосны и лиственницы с лиственными породами в большинстве случаев позволяет сформировать насаждения на гарях и вырубках с их преобладанием.

Мелколиственные насаждения (береза и осина), наоборот, значительно улучшили свои позиции: их площадь выросла более чем на 20%, хотя и здесь наблюдается снижение доли спелых и перестойных древостоев на 50%. В настоящее время средний запас древесины в наиболее эксплуатируемых хвойных формациях значительно снизился: для елово-пихтовой – до 90 м³/га, лиственничной – до 115 м³/га, хвойно-широколиственной – до 120 м³/га [8].

Среди основных негативных факторов, воздействующих на лесной фонд, первое место «занимают» лесные пожары (рис. 2). Около 66% всех негативных воздействий на лесной фонд приходится именно на лесные пожары. Ежегодно более 5 млн га лесной площади в Российской Федерации проходят лесными пожарами. На долю Дальнего Востока приходится свыше 50% всех возгораний, а пройденная огнем территория в среднем составляет не менее 1,5 млн га.

Во многом способствует развитию лесных пожаров повсеместное применение сплошнолесосечной системы промышленных рубок. Открытые пространства на вырубках ведут к интенсивному развитию травостоя, и особенно наиболее горючего в условиях Дальнего Востока материала – вейника Лангсдорфа, который за 2-3 года создает сплошной

покров по всей площади, пройденной сплошными рубками. Как показывают наши исследования, такие вырубки обязательно прогорают один раз в течение 10 лет [9, 10].

Сплошнолесосечные рубки и применяемая лесозаготовительная техника также оказывают существенное влияние на нерациональное использование лесосечного фонда. Полученные данные показывают, что на вырубках остается свыше 70 м³/га древесины, в том числе до 30% деловой. Ликвидный запас насаждений, поступающих в рубку, используется лишь на 60-70%. По данным пробных площадей (не менее 5, по каждой технологии лесосечных работ), на вырубках остается: 1,5-22,5 м³/га древесины, оставленной в недорубах; 15,0-22,0 м³/га – спиленной и брошенной у пня; 9,2-28,1 м³/га – вываленной с корнем; 15,0-28,8 м³/га – сломленной и раздавленной гусеницами тракторов; 12,0-35,6 м³/га – брошенной на погрузочных площадках. В технологическом плане потери древесины зависят от применяемой на лесозаготовках техники (табл.).

Общее количество недорубленной товарной древесины на лесосеках, где использовались валочно-пакетирующие машины, значительно ниже, чем на лесосеках с валкой бензомоторными пилами, и составляет 0,7-3,4% от исходного запаса. Однако это не говорит о более полном использовании лесосечного фонда. Почти все тонкомерные деревья, а также дровяные и фаутные стволы спиливаются и бросаются на вырубке. При трелевке древесины повреждаются деревья, стоящие на границе волока и вблизи сформированных пачек, что в дальнейшем является одной из причин их усыхания.

При сортиментной технологии (харвестер + форвардер) около 40% неиспользованной древесины приходится на недорубы, среди которых преобладают деревья хвойных пород диаметром 14-22 см. Деревья мягколиственных пород в основном не вырубываются независимо

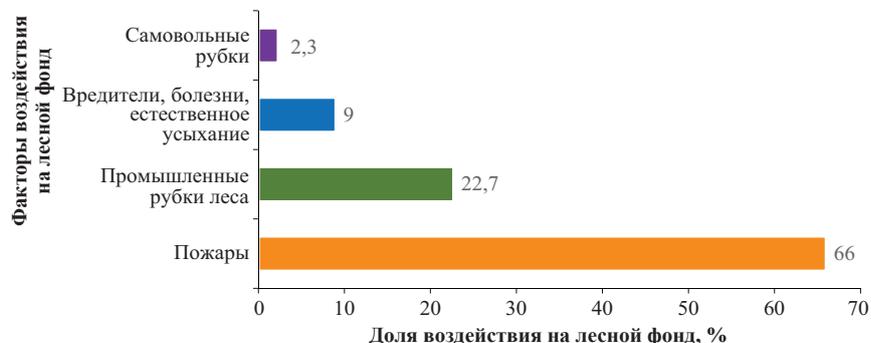


Рис. 2. Ранжирование естественных и антропогенных факторов по их влиянию на состояние лесных ресурсов

Fig. 2. Ranking of natural and anthropogenic factors by their impact on the state of forest resources

Таблица. Средние показатели древесного запаса, оставленного на вырубках, в зависимости от комплекта применяемых лесосечных машин

Table. Average indicators of wood stock left on fellings, depending on the set of logging machines used

Применяемые машины и механизмы <i>Machines and mechanisms used</i>	Среднее количество древесины, оставленной на вырубке ± ошибка репрезентативности, м ³ /га <i>Average amount of wood left on felling ± an error of representativeness, m³/ha</i>				
	в недорубках <i>in under-cuts</i>	спиленной и брошенной у пня <i>sawn and abandoned at the stump</i>	вываленной с корнем <i>uprooted</i>	раздавленной (обломки) <i>crushed (wood debris)</i>	всего (в т.ч. деловой) <i>total (including commercial timber)</i>
Бензопила + ТТ-4 <i>Gasoline-powered saw</i>	22,3±0,48	9±0,30	9,4±0,43	6,9±0,29	47,6±0,33 (16,1±0,19)
Бензопила + ЛП-18 <i>Gasoline-powered saw</i>	20,9±0,42	9,2±0,47	9,1±0,29	7,6±0,32	46,8±0,42 (15,7±0,23)
Бензопила + СКУ <i>Gasoline-powered saw</i>	19,8±0,46	9±0,31	9,7±0,45	6,6±0,37	45,1±0,29 (15,8±0,36)
ЛП-19 + ЛП-18	0,7±0,11	34,2±0,50	18,4±0,39	23,8±0,46	77,1±0,33 (30,9±0,26)
Тимберджек 2618 + Тимберджек 933 <i>Timberjack</i>	3,4±0,20	18,9±0,33	24,5±0,46	21,8±0,48	68,6±0,23 (21,1±0,30)
Тимберджек 1270 + Тимберджек 1010 <i>Timberjack</i>	20,4±0,41	6,3±0,39	9,3±0,43	7,1±0,29	43,1±0,24 (17,7±0,19)
Валмет 921 + Валмет 860 <i>Valmet</i>	19,5±0,40	7,2±0,37	8,5±0,30	8,1±0,31	43,3±0,47 (15,8±0,24)

Примечание: ТТ-4 – трелевочный трактор; ЛП-18, Тимберджек 933 – бесчokerная трелевочная машина; СКУ – самоходная канатная установка; ЛП-19, Тимберджек 2618 – валочно пакетизирующая машина; Тимберджек 1270, Валмет 921 – харвестер; Тимберджек 1010, Валмет 860 – форвардер.

Note: TT-4 – skidding tractor; LP-18, Timberjack 933 – chokerless skidding machine; SKU – self-propelled rope installation; LP-19, Timberjack 2618 – feller buncher; Timberjack 1270, Valmet 921 – harvester; Timberjack 1010, Valmet 860 – forwarder.

от диаметра. В то же время при выборочных рубках потери древесины в виде брошенной, вываленной и раздавленной лесосечными машинами редко превышают 30 м³/га. Основная масса здесь сосредоточена в недорубках, где представлены практически все фаутные и дровяные стволы.

На состояние лесного фонда оказывают влияние и лесовосстановительные мероприятия. Дальневосточные леса обладают высоким лесовосстановительным потенциалом. В большинстве случаев рубки и гари восстанавливаются естественным путем хвойными и лиственными породами. При этом в регионе ежегодно создается около 15 тыс. га лесных культур, из которых около половины уничтожается в первые 5 лет лесными пожарами. До возраста приспевающих древостоев доживают лишь около 5% созданных искусственных насаждений. Кроме того, как показывает практика, лесные культуры значительно отстают по энергии роста от естественного возобновления, даже если это саженцы с закрытой корневой системой. Через 5-8 лет после посадки эти культуры, особенно из лиственницы, которая преобладает в ДФО (около 70%), оказываются под пологом естественных молодняков или растворяются среди естественного возобновления, и обнаружить, где лесные культуры,

а где последующее возобновление, практически невозможно. Лесоводственный эффект от таких посадок является крайне низким. Целесообразно создание лесных культур в регионе осуществлять только путем реконструкции малоценных молодняков и при создании промышленных плантаций, специальных ландшафтов или защитных насаждений [11]. Большую часть средств, выделяемых на искусственное лесовосстановление на Дальнем Востоке, необходимо направлять на охрану лесов от пожаров.

Не менее важными для знаний о лесном фонде являются материалы инвентаризации лесов. Применение устаревших данных лесоустройства является негативным фактором при назначении хозяйственных мероприятий и принятии управленческих решений. Огромная расчетная лесосека (около 100 млн м³ в год), казалось бы, позволяет лесозаготовителям без оглядки эксплуатировать леса. Однако объем заготовки древесины в регионах Дальнего Востока составляет чуть больше 17,5 млн м³. При определении расчетной лесосеки, как правило, не учитываются период повторяемости рубок и в расчет, включаются пройденные рубкой насаждения при каждой последующей инвентаризации. В связи с этим большинство насаждений, особенно в южной части

региона, проходят рубками каждые 8-10 лет, хотя минимальный срок повторяемости рубок составляет 25 лет. При ее расчете учитываются также поврежденные, расстроенные и труднодоступные насаждения. Если есть запас более $50 \text{ м}^3/\text{га}$, это уже является основанием для расчета, хотя вряд ли сюда придет лесозаготовитель. По данным А.С. Шейнгауза, экономически доступная расчетная лесосека по ДФО не превышает 40 млн м^3 , а по пиловочнику I-II сорта – не более $5\text{-}6 \text{ млн м}^3$ [6].

Таким образом, существенная деградация лесов вследствие применяющейся сплошнолесосечной системы рубок и лесных пожаров требует срочного изменения концепции освоения и воспроизводства лесов в ДФО, перехода на реальное, а не декларируемое неистощительное лесопользование.

Выводы

1. Вследствие истощительности лесосечного фонда необходимо ограничить сплошнолесосечную систему рубок и перейти на выборочные методы хозяйствования не менее чем на 70% площади эксплуатационных лесов. В противном случае уже в ближайшие десятилетия на Дальнем Востоке будут преобладать низкополнотные и низкобонитетные древостои.

2. Существенного ограничения требуют и мероприятия по посадке лесных культур. Они должны найти применение лишь при создании промышленных плантаций, лесопарков

Список использованных источников

1. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспектив их использования / Коллектив авторов; Под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
2. Лесоводственная оценка техники и технологии лесосечных работ: методические рекомендации / Сост. В.И. Исаев, А.В. Побединский. М.: ЦБНТИ-лесхоз, 1977. 15 с.
3. Об утверждении лесоустroительной инструкции: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 марта 2018 г. № 122. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542621790?ysclid=16cy67et2v246218608> (дата обращения: 03.07.2022).
4. Руководство по организации и ведению хозяйства в кедрово-широколиственных лесах Дальнего Востока (кедр корейский) / Отв. сост. В.Н. Корякин. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2003. 161 с.
5. Лесной фонд Дальневосточного экономического района России на рубеже XX-XXI веков: статистический справочник / В.Н. Корякин и др. Хабаровск: Изд-во ФГУ «ДальНИИЛХ», 2004. 140 с.
6. Шейнгауз А.С. Освоение лесов Дальнего Востока и использование их продуктивности с середины XIX до середины XX века // Сборник трудов. 1973. Вып. 13-й. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1973. С. 84-110.

и других специализированных ландшафтов. В качестве основного метода лесовоспроизводства следует определить содействие естественному возобновлению, сохранение подроста и молодняка при промышленных рубках с обеспечением технологической дисциплины на лесосеке, соблюдением сроков повторяемости рубок и примыкания лесосек, а также интенсивность и равномерность выборки древесного запаса по площади.

3. Для более полной оценки состояния лесов Дальнего Востока необходимо провести лесоустroительные работы на основной площади эксплуатационных насаждений.

4. Обеспечение охраны лесов от пожаров должно базироваться на научно обоснованных нормативах по охране лесного фонда не только с обязательным устройством минерализованных полос и разрывов, но и постоянным наблюдением на лесных дорогах с активным движением транспорта путем установки контрольно-пропускных постов.

5. Уменьшению объемов и упорядочению заготовки древесины в эксплуатационных лесах может способствовать создание специализированных комплексных хозяйств по заготовке недревесных, пищевых и лекарственных растений по принципу ранее существовавших организаций потребкооперации.

Выполнение изложенных требований позволит сохранить и приумножить лесные богатства Дальневосточного региона.

References

1. Sovremennoe sostoyanie lesov rossijskogo Dal'nego Vostoka i perspektiv ih ispolzovaniya / kollektiv avtorov / pod red. A.P. Kovaleva. – Khabarovsk: Izd-vo Dal'NIILH, 2009. 470 s.
2. Lesovodstvennaya otsenka tekhniki i tehnologii lesosiecznyh rabot: metodicheskie rekomendatsii / sost. V.I. Isaev, A.V. Pobedinskij. M.: TSBNTI-leshoz, 1977. 15 s.
3. Ob utverzhdenii lesoustroitelnoj instruktsii [Tekst]: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federatsii ot 29 marta 2018 g. № 122 [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542621790?ysclid=16cy67et2v246218608> (data obrashcheniya 03.07.2022).
4. Rukovodstvo po organizatsii i vedeniyu hozyajstva v kedrovo-shirokolistvennyh lesah Dal'nego Vostoka (kedr korejskij) / otv. sost. V.N. Koryakin. Khabarovsk: Dal'NIILH, 2003. 161 s.
5. Lesnoj fond Dalnevostochnogo ekonomicheskogo rajona Rossii na rubezhe XX – XXI vekov: statisticheskij spravochnik / V.N. Koryakin [i dr.]. Khabarovsk: Izd-vo FGU «Dal'NIILH», 2004. 140 s.
6. Shejngauz A.S. Osvoenie lesov Dal'nego Vostoka i ispolzovaniya ih produktivnosti s serediny XIX do serediny` XX veka // Sbornik trudov. Vyp. 13-j. Khabarovsk: Dal'NIILH, 1973. S. 84-110.
7. Antonova N.E. Lesnaya politika: regionalnye proyavleniya / otv. red. V.D. Kalashnikov; Ros. akad. nauk,

7. Антонова Н.Е. Лесная политика: региональные проявления / Отв. ред. В.Д. Калашников; Российская академия наук, Дальневосточное отделение, Институт экономических исследований. Хабаровск: КГУП «Хабаровская краевая типография», 2010. 224 с.

8. Грек В.С., Шелогаев Г.Д., Елпанова А.Б. Создание и использование лесных стационарных объектов в Хехпирском лесничестве Хабаровского края // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2016. № 5. С. 135-141.

9. Сибирина Л.А., Гладкова Г.А. Нерациональное лесопользование и потери местообитаний кедрово-широколиственных лесов // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской научной конференции. Хабаровск, 2019. С. 165-170.

10. Ковалев А.П. Эколого-лесоводственные основы рубок в лесах Дальнего Востока: Хабаровск. ДальНИИЛХ, 2004. 270 с.

11. Данилин А.К. Лесоустройство Дальнего Востока. Хабаровск: Наше время, 2009. 335 с.

Критерии авторства

Ковалев А.П., Громько О.С. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 21.11.2022

Одобрена после рецензирования 23.12.2022

Принята к публикации 13.01.2023

Dalnevost. otd-nie, In-t ekon. issledovanij. Khabarovsk: KGUP «Khabarovskaya kraevaya tipografiya», 2010. 224 с.

8. Grek V.S., Shelogaev G.D., Elpanova A.B. Sozdanie i ispolzovanie lesnyh stacionarnyh objektov v Hehtsirskom lesnichestve Khabarovskogo kraja // Vestnik MGUL. Lesnoj vestnik. 2016. № 5. S. 135-141.

9. Sibirina L.A., Gladkova G.A. Neratsionalnoe lesopolzovanie i poteri mestoobitanij kedrovo-shirokolistvennyh lesov // Intensifikatsiya ispolzovaniya i vosproizvodstva lesov Sibiri i Dalnego Vostoka: materialy Vserossijskoj nauchnoj konferentsii. Khabarovsk: 2019. S. 165-170.

10. Kovalev A.P. Ekologo-lesovodstvennye osnovy rubok v lesah Dalnego Vostoka. Khabarovsk: DalNIILH, 2004. 270 s.

11. Danilin A.K. Lesoustrojstvo Dalnego Vostoka. Khabarovsk: Nashe vremya, 2009. 335 s.

Criteria of authorship

Kovalev A.P., Gromyko O.S. 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.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 21.11.2022

Approved after reviewing 23.12.2022

Accepted for publication 13.01.2023

Оригинальная статья

УДК 630.181

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-122-128



ПАРАМЕТРЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОЧВЕННОГО ВЛАГОДЕФИЦИТА ПРИ ВЫСАДКЕ СЕЯНЦЕВ *PINUS SYLVESTRIS* L. С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ НА ГАРЯХ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ

Беховых Юрий Владимирович, канд. с.-х. наук, доцент

SPIN-код: 1634-4148, AuthorID: 125837; Phys_asau@rambler.ru

Беховых Лариса Александровна , канд. физ.-мат. наук, доцент

SPIN-код: 3440-6831, AuthorID: 702589; dekan.fpo208@yandex.ru

Алтайский государственный аграрный университет; 656049, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98, Россия

Аннотация. Целью исследований являлось определение почвенного влагодефицита и нормирующих параметров влагокомпенсации при высадке сеянцев *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой на гарях в условиях сухостепной климатической зоны. Исследования проводились в южной части Барнаульской ленты ленточных сосновых боров Алтайского края. Были определены общие, продуктивные и труднодоступные запасы влаги в почве. Наблюдения осуществлены в различные сроки и на разных элементах мезорельефа. Исследования показали, что параметры увлажнения 20-сантиметрового слоя почвы за весь период измерений достигают критически малых значений на всех рассмотренных элементах мезорельефа. Максимальное естественное содержание влаги было отмечено в низине увала во время июльских наблюдений. Наименьший естественный влагозапас был зарегистрирован в сентябре на южном склоне увала. Максимальный дефицит влаги составлял около 16 мм для 20-сантиметрового слоя исследованной почвы, 50 мм для метрового слоя и определялся сроком наблюдений, а также экспозицией мезорельефа. При искусственном лесовосстановлении *Pinus sylvestris* L. в районе проведения исследований сеянцами с закрытой корневой системой параметры влагокомпенсации составляют не менее 70-150 т/га для слоя почвы 0-0,2 м и 170-490 т/га для слоя 0-1,0 м. Рассчитанные параметры влагодефицита и влагокомпенсации в почвенных слоях могут быть полезными при планировании лесовосстановительных работ.

Ключевые слова: *pinus sylvestris*, дерново-подзолистые почвы, сухостепная зона, влажность почвы, влагоемкость почвы, продуктивные запасы влаги, запас труднодоступной влаги, дефицит влаги, поливная норма

Формат цитирования: Беховых Ю.В., Беховых Л.А. Параметры компенсации почвенного влагодефицита при высадке сеянцев *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой на гарях ленточных боров // Природообустройство. 2023. № 1. С. 122-128. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-122-128.

© Беховых Ю.В., Беховых Л.А., 2023

Original article

PARAMETERS OF COMPENSATION OF SOIL MOISTURE DEFICIENCY WHEN PLANTING *PINUS SYLVESTRIS* L. SEEDLINGS WITH A CLOSED ROOT SYSTEM ON THE BURNS OF RIBBON HOGS

Bekhovich Yury Vladimirovich, candidate of agricultural sciences, associate professor

SPIN-код: 1634-4148, AuthorID: 125837; Phys_asau@rambler.ru

Bekhovich Larisa Alexandrovna , candidate of physical-mathematical sciences, associate professor

SPIN-код: 3440-6831, AuthorID: 702589; dekan.fpo208@yandex.ru

Altai State Agrarian University; 656049, Region Altai, Barnaul, Krasnoarmeysky prospect, 98, Russia

Annotation. The research goal was to determine the soil moisture deficiency and the normalizing parameters of moisture compensation for planting seedlings of the *pinus sylvestris* culture with a closed root system on burning in a dry-steppe climatic zone. The research was carried out in the southern part of the Barnaul ribbon of ribbon pine forests of the Altai region. Common, productive and hard-to-reach moisture reserves in the soil were determined. The observations were carried out at different times

and on different elements of the mesorelief. Studies have shown that the moisture parameters of a twenty-centimeter soil layer over the entire measurement period reach critically small values on all the mesorelief elements considered. The maximum natural moisture content was observed in the lowland during July observations. The lowest natural moisture reserve was recorded in September on the southern slope. The maximum moisture deficit was about 16 mm for a twenty-centimeter layer of the studied soil and 50 mm for a meter layer and was determined by the observation period, as well as the exposure of the mesorelief. With artificial reforestation of *Pinus sylvestris* L. in the area of research by seedlings with a closed root system, the moisture compensation parameters are at least 70-150 t/ha for a soil layer of 0-0.2 m and 170-490 t/ha for a layer of 0-1.0 m. The calculated parameters of water deficiency and moisture compensation in soil layers can be useful when planning reforestation works.

Keywords: sod-podzol soils, dry steppe zone, soil moisture, soil water capacity, productive reserves of the moisture, stock of a hard-to-reach moisture, moisture deficiency, irrigation rate

Format of citation: Bekhoviyh Yu.V., Bekhoviyh L.A. Parameters of compensation of soil moisture deficiency when planting *Pinus sylvestris* L. seedlings with a closed root system on the burns of ribbon hogs // *Prirodoobustrojstvo*. 2023. No. 1. S. 122-128. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-122-128.

Введение. Сосновые ленточные леса Алтайского края, первоначально сформировавшиеся в условиях влажного и прохладного климата, в настоящее время являются реликтовыми, так как располагаются в пределах степной и лесостепной зон Евразийского континента [1]. Южная часть самой протяженной (около 550 км) Барнаульской ленты ленточных лесов, называемых ленточными борами, располагается в сухостепной климатической зоне [2]. Древесная порода *Pinus sylvestris* L. – сосна обыкновенная [3], которая составляет основную долю от количества произрастающих в ленточных борах деревьев [4], – вынуждена приспосабливаться на юге ленточных боров к сухому резко-континентальному климату и лимитированным условиям увлажнения (200-300 мм годовых осадков) [5]. Существование соснового леса в условиях степного климата является одним из примеров уникальных экосистем, где основная лесобразующая порода находится на крайней границе естественного распространения [6]. Это стало возможным благодаря сформировавшемуся здесь уникальному подвиду сосны, получившему название *Pinus sylvestris* ssp. *kulundensis* L. – сосна обыкновенная кулундинская [7] и являющемуся эволюционным гибридом *Pinus sylvestris* L. Сеянцы и саженцы данного подвиды сосны имеют более высокую приживаемость даже в неблагоприятные годы, в то время как привезенные из питомников, расположенных в более северных регионах, часто погибают при посадке в лесхозах юго-западной части ленточных боров Алтайского края [8].

Pinus sylvestris L., а особенно ее кулундинский подвид, достаточно удовлетворительно восстанавливается естественным путем после лесных пожаров. Этому способствует неприхотливость сосны к условиям произрастания: ее светолюбивость, высокая всхожесть

и жизнеспособность семян [9]. Однако процесс естественного восстановления *Pinus sylvestris* L. на крупноплощадных гарях юго-западной части ленточных боров Алтайского края, расположенных в климатических зонах сухой и засушливой степей, является весьма затруднительным [6].

Напряженные, порой критические климатические и почвенно-климатические условия, а также уничтожение огнем семенного материала делают весьма проблематичным процесс естественного воспроизводства леса после пирогенного воздействия в этом районе. Ситуацию усугубляет и тенденция глобального потепления климата, в результате которого количество выпадающих осадков в сухих и засушливых регионах уменьшается, а температура воздуха и почвы увеличивается [5, 10].

Названные причины в комплексе делают проблематичным существование сосновых лесов без искусственного лесовосстановления на территориях, принадлежащих климатическим зонам сухой и засушливой степей [6]. Однако 14-20 мм выпадающих месячных осадков в апреле и мае [4], когда производится высадка сеянцев сосны в грунт, явно недостаточны для их успешной приживаемости. Это относится даже к неприхотливой *Pinus sylvestris* ssp. *kulundensis* [8]. В таких условиях приоритетное значение при высадке сеянцев сосны приобретают компенсация дефицита влаги в почве и мелиоративные мероприятия, направленные на сохранение запасов почвенной влаги.

Материалы и методы исследований. Проведение опытов и отбор почвенных образцов осуществлялись на пирогенно трансформированных землях лесного фонда Тополинского лесхоза Алтайского края, где на территории лесного квартала № 42 были заложены опытные участки и участки для осуществления контрольных

измерений. Район расположения опытных участков относился к сухостепной климатической зоне. Пирогенное воздействие на лесные экосистемы в районе исследований характеризовалось полным уничтожением травянисто-кустарниковой и почти полным уничтожением древесной растительности, а также выгоранием слоя лесной подстилки и лесного опада.

Объектом изучения являлась аazonальная почва дерново-подзолистого типа, характерная для всего ареала распространения ленточных боров.

Исследования проводились весной, летом и осенью. Весенние измерения проводились в конце апреля, летние – в конце июля, осенние – в середине сентября. Первые измерения были проведены через 7 мес. после пожара – весной.

Локализация опытных участков включала в себя дифференциацию по элементам мезорельефа. Опыты проводились на наиболее контрастных с точки зрения гидротермических режимов склонах северной и южной экспозиций, а также на вершине и в низине увала.

Для определения водных и физических свойств почв были использованы методики [11], общепринятые в почвенных исследованиях. Влажность почвенных образцов определялась весовым методом [11]. Дефицит влаги в почвенных слоях и нормы параметров влагокомпенсации рассчитывались с учетом полной полевой (ППВ) влагоемкости [12].

Цель исследований: определение почвенного влагодефицита и нормирующих параметров влагокомпенсации при высадке семян *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой на гари в условиях сухостепной климатической зоны.

Достижение поставленной цели потребовало рассмотрения и решения следующих задач:

– в период активного роста семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) изучить увлажнение дерново-подзолистой почвы на различных элементах мезорельефа гари соснового бора для определения общих (ОЗВ), продуктивных (ПЗВ) и труднодоступных (ЗТВ) запасов влаги почвы;

– определить дефицит содержания влаги в почвенных слоях сухостепной зоны Алтайского края на гари;

– рассчитать нормы влагокомпенсации при проведении искусственного лесовосстановления сеянцами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой на гари в сухостепной зоне Алтайского края.

Результаты и их обсуждение. По морфологическим признакам в профиле исследованных почв были представлены следующие горизонты: дерновый Ад – слой сгоревшей лесной подстилки, состоящий из ее зольных остатков; аллювиальные горизонты А₁ и А₂, различающиеся глубиной залегания и окраской ввиду различного содержания гумуса; ярко выраженный белесым оттенком иллювиальный горизонт В; переходный горизонт ВС или сразу без переходного, в зависимости от экспозиции мезорельефа, горизонт материнской породы С, представленный песчаными остатками пойменных отложений древней речной сети.

Характерной особенностью гранулометрического состава почвенных слоев на экспериментальных площадках являлось доминирование крупнопесчаных и среднеспесчаных фракций, содержание которых в некоторых слоях достигало 80-90% от общего состава всех присутствующих фракций. От 10 до 20% гранулометрического состава приходилось на фракцию мелкого песка при почти полном отсутствии глинистой и илистой фракций. Исследованные почвы по количеству гумуса являются бедными. В гумусовых горизонтах его содержание не превышало 2% от общего количества органического вещества.

Профиль почв на опытных участках отличался достаточно высокими значениями плотности сложения (табл. 1). Так, в верхнем, наименее уплотненном гумусовом горизонте, на гари плотность изменялась в границах 1,10-1,40 г/см³ в зависимости от элемента мезорельефа. В наиболее уплотненном иллювиальном горизонте значения плотности превышали 1,60 г/см³.

Таблица 1. Плотность сложения слоев почвы участка проведения исследований на разных элементах мезорельефа, г/см³

Table 1. Density of soil layers composition of the site of research on different elements of the mesorelief, g/cm³

Глубина, м Depth, m	Южная экспозиция склона Southern exposition of the slope	Вершина увала Top of the ridge	Низина увала Bottom of the ridge	Северная экспозиция склона Northern exposition of the slope
0,0-0,1	1,30±0,04	1,43±0,04	1,20±0,03	1,12±0,03
0,1-0,2	1,44±0,04	1,48±0,04	1,50±0,04	1,43±0,04
0,2-0,3	1,44±0,04	1,60±0,05	1,62±0,05	1,43±0,04
0,5-0,6	1,58±0,05	1,65±0,05	1,65±0,05	1,56±0,04
0,9-1,0	1,56±0,05	1,59±0,04	1,59±0,04	1,56±0,04

Сочетание факторов доминирования крупнопесчаных и среднеспесчаных фракций с особенностями плотности сложения и незначительным содержанием гумуса, а также предполагаемый эффект постпирогенного вымывания мелких фракций почвенных частиц [6] в комплексе определили низкие показатели почвенно-гидрологических констант дерново-подзолистой почвы на участках проведения исследований: полной влагоемкости (ПВ), полной полевой влагоемкости (ППВ), влажности завядания (ВЗ) (табл. 2).

Высадка сеянцев *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой происходит в дно специально подготовленных борозд, на 4-6 см превышающих по глубине длину корней сеянцев ($6,3 \pm 0,3$ см) [13]. Поэтому для успешного искусственного лесовосстановления сеянцами с закрытой корневой системой приоритетна влагообеспеченность верхнего слоя, который с запасом не превышает 20 см.

На рисунке 1 представлены запасы влаги корнеобитаемого слоя почвы 0-20 см на разных элементах мезорельефа участка исследований. В форме диаграмм влагосодержания отражены продуктивные и труднодоступные запасы влаги. Продуктивные влагозапасы отражают общее количество влаги в почвенном слое (мм), которая может быть доступна для всасывания корневой системой растений. Труднодоступный влагозапас, или запас труднодоступной влаги, рассчитывается по влажности завядания для данного типа почв и характеризует влагозапас, который присутствует в почвенном слое, но не может быть использован растениями по причине действия водоудерживающих сил. Общие запасы влаги почвы, составляющие сумму продуктивных и труднодоступных запасов, используются для определения дефицита почвенной влаги и расчета соответствующих этому дефициту норм влагокомпенсации.

Анализируя данные представленных диаграмм влагозапасов в 20-сантиметровом слое почвы в различные сроки наблюдений, можно отметить, что общее влагосодержание данного слоя не превышало 9 мм, а запасы продуктивной влаги – 4 мм (рис. 1). Невысокие значения влагозапаса являются характерной особенностью всех песчаных почв, в том числе дерново-подзолистых почв ленточных сосновых боров Алтайского края [14], а особенности гранулометрического состава почв района исследований в наибольшей степени способствовали уменьшению действия капиллярных сил, задерживающих влагу. К тому же в пирогенно-трансформированных почвах действует целый ряд специфических причин, которые в совокупности приводят к уменьшению влагозапасов. Во-первых, при пожаре выгорает влагосберегающий слой лесной подстилки. Во-вторых, ввиду выгорания древесной и кустарниково-травяной растительности почва подвержена прямому воздействию солнечной радиации, и как следствие – более интенсивному нагреванию и испарению влаги. Невысокое

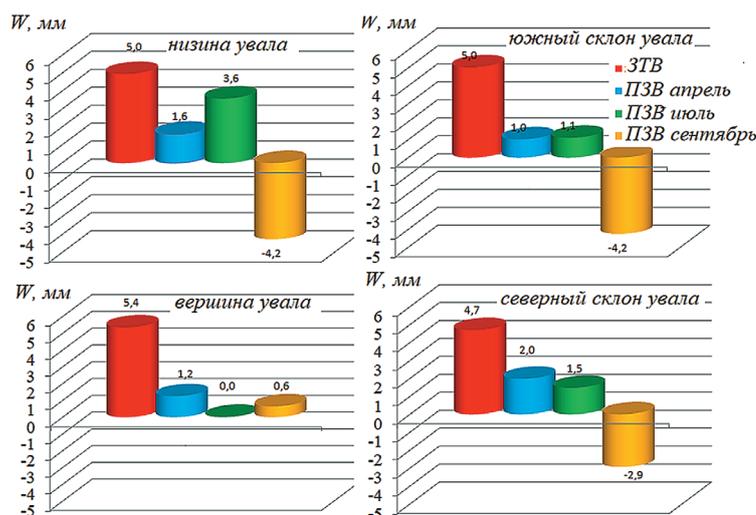


Рис. 1. Продуктивные (ПЗВ) и труднодоступные (ЗТВ) влагозапасы дерново-подзолистой почвы в 20-сантиметровом слое на участке исследований, W, мм

Fig. 1. Productive (PZV) and hard-to-reach (ZTV) moisture reserves of sod-podzolic soil in a twenty-centimeter layer at the research site (W, mm)

Таблица 2. Плотность и почвенно-гидрологические константы почвы участка проведения исследований (вершина увала)

Table 2. Density and soil-hydrological constants of the soil of the research site (top of the ridge)

Горизонт Horizon	Глубина, м Depth, m	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	ПВ, % PV, %	ППВ, % PPV, %	ВЗ, % VZ, %
A ₁	0,0-0,1	1,43±0,04	34,53±0,69	5,83±0,12	1,16±0,03
A ₂	0,3-0,4	1,60±0,05	23,24±0,45	5,02±0,09	1,11±0,02
B	0,5-0,6	1,65±0,05	24,31±0,49	4,37±0,08	0,86±0,01
C	0,9-1,0	1,59±0,04	29,63±0,58	4,50±0,09	0,86±0,01

альbedo сгоревших останков на поверхности почвы также способствовало увеличению температуры ее поверхности и интенсификации теплообмена в более глубоких слоях [15], что в свою очередь стимулировало интенсификацию массообмена с воздухом через испарение влаги.

Совокупное действие всех вышеуказанных причин привело к тому, что уже во время весенних наблюдений влагозапасы 20-сантиметрового слоя почвы, доступные для всасывания растениями, имели максимальное значение 2 мм при запасах труднодоступной влаги около 5 мм. Северный склон экспозиции мезорельефа и низина увала во время наблюдений в конце апреля накопили максимальные влагозапасы в сравнении с другими рассмотренными вариантами (рис. 1).

Влагопотери и влагопоступление во время июльских наблюдений в верхнем слое почвы обуславливали высокую температуру воздуха и почвы, а также выпадающие осадки.

Следует отметить, что качественные особенности распределения почвенной влаги в зависимости от элементов рельефа в середине лета были такими же, как и весной (рис. 1). Наблюдалась тенденция увеличения влагосодержания низинных участков почвы на гари. Эту тенденцию, которая отмечена и в более ранних исследованиях [6, 16], можно считать характерной особенностью распределения почвенной влаги в постпирогенных лесных почвах.

Во время осенних измерений влагосодержания 20-сантиметрового слоя почвы, которые были проведены в начале сентября, было выявлено, что продуктивные запасы влаги в этом слое оказались меньше труднодоступных (рис. 1). Это говорит о том, что иссушение данного слоя почвы достигло такой степени, что его весовая влажность не превышала влажности завядания растений. Этот факт еще раз свидетельствует о крайне затруднительных условиях влагообеспечения корневой системы растений, в том числе сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой.

При определении содержания влаги в слое почвы 0-100 см не были зафиксированы столь критические условия влагосодержания, как в слое 0-20 см. В метровом слое почвы суммарный влагозапас продуктивной влаги во все сроки наблюдений и на всех экспозициях

мезорельефа был выше запасов труднодоступной влаги (рис. 2). Однако следует отметить, что абсолютные значения продуктивного влагосодержания метрового слоя были невелики и в максимальном экстремуме не превышали 65 мм. Минимальный экстремум содержания продуктивной влаги в метровом слое не превышал 10 мм и был зафиксирован при осенних наблюдениях на южном склоне (рис. 2).

Характерная качественная особенность распределения влаги в зависимости от варианта мезорельефа прослеживалась в метровом слое почвы на гари так же, как и в слое 0-20 см. Низинные участки мезорельефа содержали наибольшее количество влаги, а вершины, и особенно южные склоны, ввиду более сильной инсоляции отличались наименьшим влагосодержанием почвенной толщи.

Подводя итоги исследований, можно отметить, что на всех рассмотренных вариантах участка наблюдений водный режим метрового слоя почвы за весь период измерений был напряженным, достигая критически малых значений в наиболее подверженных иссушению почвенных профилях вершин увалов и южных склонов.

С учетом особенностей высадки сеянцев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой [13] и изученного характера влагосодержания почвенного профиля гари в районе проведения исследований, дифференциации по элементам мезорельефа были определены параметры влагодефицита и влагокомпенсации в слоях 0-20 см и 0-100 см (табл. 3).

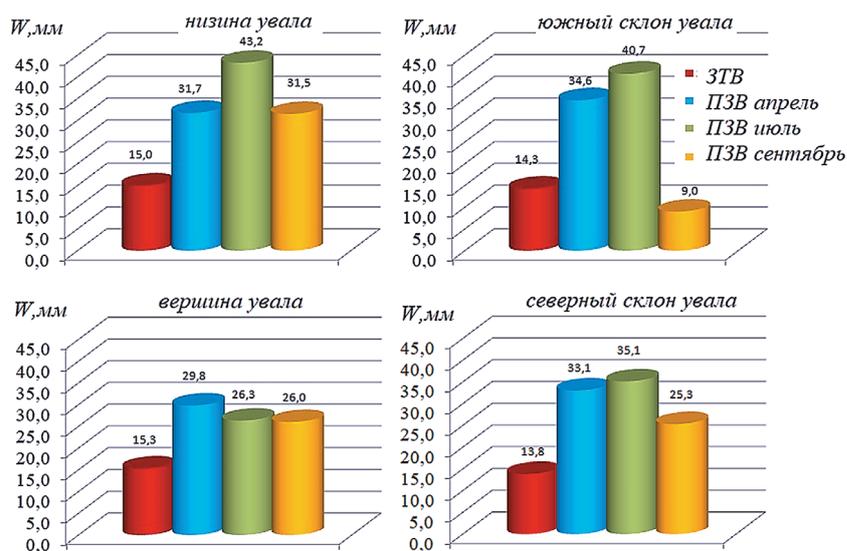


Рис. 2. Продуктивные (ПЗВ) и труднодоступные (ЗТВ) влагозапасы дерново-подзолистой почвы в метровом слое на участке исследований, W , мм

Fig. 2. Productive (PZV) and hard-to-reach (ZTV) moisture reserves of sod-podzolic soil in a meter layer at the research site (W , mm)

Таблица 3. Дефицит влаги и параметры влагокомпенсации в почвенных слоях при высадке сеянцев *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой
Table 3. Moisture deficiency and moisture compensation parameters in soil layers when planting seedlings *Pinus sylvestris* L. with a closed root system

Слой почвы, м <i>Soil layer, m</i>	Сроки наблюдений <i>Time of observations</i>	Общие запасы влаги в почве, мм <i>Total moisture reserves in the soil, mm</i>	Дефицит, мм <i>Deficiency, mm</i>	Параметры влаго- компенсации, т/га <i>Parameters of moisture compensation</i>
0-0,2	Низина увала / Bottom of the ridge			
	Апрель / April (26.04)	6,6±0,2	9,2±0,3	92,0±2,8
	Июль / July (26.07)	8,6±0,3	7,2±0,2	72,0±2,1
	Сентябрь / September (16.09)	5,4±0,2	10,4±0,3	104,0±3,1
	Вершина увала / Top of the ridge			
	Апрель / April (26.04)	6,6±0,2	10,4±0,3	104,0±3,1
	Июль / July (26.07)	5,4±0,2	11,6±0,3	116,0±0,3
	Сентябрь / September (16.09)	6,0±0,2	11,0±0,3	110,0±0,3
	Южная экспозиция склона / Southern exposition of the slope			
	Апрель / April (26.04)	6,1±0,2	9,9±0,3	99,0±3,0
	Июль / July (26.07)	6,1±0,2	9,8±0,3	98,0±3,0
	Сентябрь / September (16.09)	0,8±0,1	15,2±0,4	152,0±4,6
	Северная экспозиция склона / Northern exposition of the slope			
	Апрель / April (26.04)	6,7±0,2	8,2±0,2	82,0±2,5
	Июль / July (26.07)	6,2±0,2	8,7±0,3	87,0±2,6
Сентябрь / September (16.09)	1,8±0,1	13,1±0,4	131,0±4,0	
0-1,0	Низина увала / Bottom of the ridge			
	Апрель / April (26.04)	46,7±1,4	29,5±0,9	295,0±8,8
	Июль / July (26.07)	58,2±1,7	18,0±0,4	180,0±5,4
	Сентябрь / September (16.09)	46,4±1,4	29,7±0,9	297,0±8,9
	Вершина увала / Top of the ridge			
	Апрель / April (26.04)	45,1±1,3	32,0±1,0	320,0±9,6
	Июль / July (26.07)	41,6±1,2	35,5±1,1	355,0±10,6
	Сентябрь / September (16.09)	41,3±1,1	35,8±1,1	358,0±10,7
	Южная экспозиция склона / Southern exposition of the slope			
	Апрель / April (26.04)	48,9±1,3	23,3±0,7	233,0±7,0
	Июль / July (26.07)	55,0±1,6	17,2±0,5	172,0±5,1
	Сентябрь / September (16.09)	23,3±0,7	48,9±1,4	489,0±14,6
	Северная экспозиция склона / Northern exposition of the slope			
	Апрель / April (26.04)	46,9±1,4	23,6±0,7	236,0±7,1
	Июль / July (26.07)	49,0±1,5	21,5±0,6	215,0±6,4

Выводы

1. Параметры увлажнения 20-сантиметрового слоя почвы за весь период проведенных измерений достигают критически малых значений на всех рассмотренных элементах мезорельефа и являются недостаточными для искусственного лесовосстановления *Pinus sylvestris* L. сеянцами с закрытой корневой системой.

2. Максимальное естественное содержание влаги было отмечено в низине увала во время июльских наблюдений.

3. Наименьший естественный влагозапас был зарегистрирован в сентябре на южном склоне увала.

4. Максимальный дефицит влаги составлял значения около 16 мм для 20-сантиметрового

слоя исследованной почвы, 50 мм для метрового слоя и в значительной мере определялся сроком наблюдений, а также экспозицией мезорельефа.

5. На гарях ленточных боров Алтайского края, географически располагающихся в климатической зоне сухих степей, при проведении искусственного восстановления *Pinus sylvestris* L. сеянцами с закрытой корневой системой нормы влагокомпенсации составляют 70-150 т/га для 20-сантиметрового слоя и 170-490 т/га для метрового слоя в зависимости от элемента мезорельефа и месяца.

6. Полученные данные могут быть полезными при планировании лесовосстановительных работ на гарях в схожих климатических и почвенных условиях.

Список использованных источников

1. Природные предпосылки изменения растительного покрова ленточных боров на территории Алтайского края // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о земле». Саратов, 2020. Т. 20, № 1. С. 4-9.

References

1. Prirodnye predposylki izmeneniya rastitelnogo pokrova lentochnyh borov na territorii Altajskogo kraja // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: nauki o zemle. Saratov, 2020. T. 20. № 1. S. 4-9.

2. Бугаев В.А., Косарев Н.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края. Барнаул, 1988. 312 с.

3. Лаур Н.В., Царев А.П. Происхождение, распространение, систематика и некоторые подходы при селекции *Pinus sylvestris* L. // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2012. № 2. С. 8-13.

4. Парамонов Е.Г., Рыбкина И.Д. Ленточные боры Алтая в период потепления климата // Устойчивое лесопользование. 2017. № 3 (51). С. 33-39.

5. Агроклиматический справочник по Алтайскому краю. Л.: Гидрометиздат, 1957. 167 с.

6. Заблочкий В.И. Динамика экологических условий на гаях в сосновых лесах юго-востока западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. 30 с.

7. Стрелковский А.Н., Куприянов А.Н. Характеристика *Pinus sylvestris* subsp. *kulundensis* // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: материалы II Международной конференции. Барнаул, 2002. С. 126-128.

8. Стрелковский А.Н. Экологические и морфологические особенности сосны обыкновенной на юге Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 19 с.

9. Ярошенко А.Ю. Как вырастить лес: методическое пособие. М.: Гринпис России, Сибирский экологический центр, Всемирная лесная вахта, 2006. 48 с.

10. Клиге Р.К. Глобальные гидроклиматические изменения // Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. М.: Геос, 2000. С. 6-23.

11. Вадонина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

12. Ольгаренко Г.В. и др. Планирование водопользования при орошении сельскохозяйственных культур / Под общ. ред. Г.В. Ольгаренко (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»): Инстр.-метод. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 172 с.

13. Гоф А.А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной сеянцами с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая: автореф. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2020. 18 с.

14. Бурлакова Л.М., Рассыпнов В.А., Татаринцев Л.М. Полевые исследования почв Алтайского края. Новосибирск, 1984. 91 с.

15. Макарычев С.В., Беховых Ю.В., Беховых Л.А. Почвенно-физические условия лесовосстановления в горельниках юго-западной части ленточных боров Алтайского края // Восстановление нарушенных ландшафтов: материалы IV научно-практической конференции. Барнаул, 2004. С. 59-65.

16. Беховых Ю.В., Болотов А.Г. Сравнительный анализ продуктивных запасов влаги дерново-подзолистых почв ленточных боров Алтайского края в зонах засушливой и сухой степи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 2 (88). С. 42-46.

Критерии авторства

Беховых Ю.В., Беховых Л.А. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 15.12.2022

Одобрена после рецензирования 21.01.2023

Принята к публикации 23.01.2023

2. Bugaev V.A., Kosarev N.G. Lesnoe hozyajstvo lentochnyh borov Altajskogo kraja. Barnaul: 1988. 312 s.

3. Laur N.V., Czarev A.P. Proishozhdenie, rasprostranenie, sistematika i nekotorye podhody pri seleksii *Pinus sylvestris* L. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik. 2012. № 2. S. 8-13.

4. Paramonov E.G., Rybkina I.D. Lentochnye bory Altaya v period potepleniya klimata // Ustojchivoe lesopolzovanie. 2017. № 3(51). S. 33-39.

5. Agroklimaticheskij spravocnik po Altajskomu kraju. L.: Gidrometizdat, 1957. 167 s.

6. Zablotskij V.I. Dinamika ekologicheskikh uslovij na garyah v osnovnyh lesah yugo-vostoka zapadnoj Sibiri: avtoref. dis. ... dokt. s-h. nauk. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2006. 30 s.

7. Strelkovskij A.N., Kupriyanov A.N. Harakteristika *Pinus sylvestris* subsp. *kulundensis* // Antropogennoe vozdejstvie na lesnye ekosistemy: materialy II Mezhdunar. konf. Barnaul: 2002. S. 126-128.

8. Strelkovskij A.N. Ekologicheskie i morfologicheskie osobennosti sosny obyknovnoy na yuge Zapadnoj Sibiri: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk: 2005. 19 s.

9. Yaroshenko A.Yu. Kak vyrastit les: metodicheskoe posobie. – M.: Grinpis Rossii, Sibirskij ekologicheskij tsentr, Vsemirnaya lesnaya vahta, 2006. 48 s.

10. Klige R.K. Globalnye gidroklimaticheskie izmeneniya // Globalnye i regionalnye izmeneniya klimata i ih prirodnye i sotsialno-ekonomicheskie posledstviya. M.: Geos, 2000. S. 6-23.

11. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svojstv pochv. M.: Agropromizdat, 1986. 416 s

12. Olgarenko G.V. Planirovanie vodopolzovaniya pri oroshenii sel'skohozyajstvennyh kultur / G.V. Olgarenko i dr.; Pod obshhej redaktsiej G.V. Olgarenko (FGBNU VNII «Raduga»): instr. – metod, izd. M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2014. 172 s.

13. Gof A.A. Effektivnost sozdaniya lesnyh kultur sosny obyknovnoy seyantsami s zakrytoj kornevoj sistemoj v lentochnyh borah Altaya: avtoref. kand. s-h. nauk / A.A. Gof. Ekaterinburg: 2020. 18 s.

14. Burlakova L.M., Rassypnov V.A., Tatarintsev L.M. Polevyeissledovaniya pochv Altajskogo kraja. Novosibirsk: Alt. SHI, 1984. 91 s.

15. Makarychev S.V., Bekhovych Yu.V., Bekhovych L.A. Pochvenno-fizicheskie usloviya lesovosstanovleniya v gorelnikah yugo-zapadnoj chasti lentochnyh borov Altajskogo kraja // Vosstanovlenie narushennyh landshaf-tov: materialy IV nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bar-naul, 2004. S. 59-65.

16. Bekhovych Yu.V., Bolotov A.G. Sravnitelnyj analiz produktivnyh zapasov vlagi dernovo-podzolistyh pochv lentochnyh borov Altajskogo kraja v zonah zasushlivoy i suhoj stepi // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrar-nogo universiteta. 2012. № 2(88). S. 42-46.

Criteria of authorship

Bekhovych Yu.V., Bekhovych L.A. Bekhovych 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.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 15.12.2022

Approved after reviewing 21.01.2023

Accepted for publication 23.01.2023

Оригинальная статья

УДК 631.8.022.3, 631.816.11, 631.816.12

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-129-136



ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «БИОСТИМ» НА РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕМЯН И СЕЯНЦЕВ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЕ

Соломенцева Александра Сергеевна , канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник
ORCID0000-0002-5857-1004; Scopus:57220036834; РИНЦ ID:756338; WOSResearchID: W-4142-2018; alexis2425@mail.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, д-р с.-х. наук,
руководитель селекционно-семеноводческого центра
ORCID0000-0002-1576-7824; Scopus:57219094230; РИНЦID:822657; mishamax73@mail.ru

Крючков Сергей Николаевич, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник
ORCID: 0000-0001-8338-6460; РИНЦID:357954; kryuchkovs@vfanc.ru;

Егоров Сергей Анатольевич, младший научный сотрудник, аспирант
ORCID: 0000-0001-8234-7355; РИНЦID:1124794; serzh-egorov-94@mail.ru

Романенко Алмагуль Кадыргалиевна, младший научный сотрудник, аспирант
ORCID: 0000-0002-6705-6135; РИНЦ ID:1125490; romanenko-ak@vfanc.ru

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук; 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97, Россия

Аннотация. Целью исследований явилось изучение влияния биостимулятора роста «Биостим» на прорастание и развитие семян и сеянцев древесных видов для питомниководства в Волгоградской области. Объектами исследований стали древесные виды: *Quercus robur* L. (дуб черешчатый) *Robinia pseudoacacia* L. (робиния ложноакациевая), *Populus bolleana* Louche. (тополь Болле), *Populus nigra*, *Italic Münchh.* (тополь пирамидальный), *Catalpa bignonioides* (катальпа бигониевидная) и хвойные виды *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) (сосна крымская), *Platycladus orientalis* (L.) Franco (туя восточная), *Picea pungens* Engelm. (ель голубая) разного географического происхождения. Для робинии ложноакациевой подошла концентрация препарата в дозе 10 мл/л с замачиванием семян перед посевом на 10-20 мин с последующей просушкой. Худший результат в испытании лабораторной всхожести семян показал дуб черешчатый по причине отсутствия реакции семян на обработку и их плесневения. У хвойных видов лучший результат показала сосна крымская с концентрацией препарата «Биостим» 10 мл/л и 2,5 л/га. У семян ели и туи всхожесть была слабой. По результатам испытания препарата «Биостим» на сеянцах и семенах в условиях питомника на темно-каштановых почвах наилучший результат показали сеянцы видов тополя и катальпы с концентрацией препарата «Биостим» в дозе 2,5 л/га и 20 мл/л для семян. Эффективной оказалась дополнительная подкормка препаратом тополей, после которой наблюдался хороший рост, развитие и образование биомассы опытных растений. Сеянцы и семена туи восточной и ели голубой после дополнительной обработки росли и развивались удовлетворительно. Впоследствии наблюдалось их усыхание и выпадение, что делает тему испытания биостимуляторов роста на хвойных видах перспективной для дальнейших исследований.

Ключевые слова: препарат «Биостим», древесные виды, рост, развитие, Волгоградская область, биостимуляторы роста

Формат цитирования: Соломенцева А.С., Солонкин А.В., Крючков С.Н., Егоров С.А., Романенко А.К. Влияние препарата «Биостим» на рост и развитие семян и сеянцев древесных видов в засушливой зоне // Природообустройство. 2023. № 1. С. 129-136. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-129-136.

© Соломенцева А.С., Солонкин А.В., Крючков С.Н., Егоров С.А., Романенко А.К., 2023

Original article

THE EFFECT OF THE PREPARATION «BIOSTIM» ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SEEDS AND SEEDLINGS OF WOODY SPECIES IN THE ARID ZONE

Solomentseva Alexandra Sergeevna , candidate of agricultural sciences, senior researcher
ORCID: 0000-0002-5857-1004; alexis2425@mail.ru

Solonkin Andrey Valerievich, doctor of agricultural sciences, head of the selection and seed center
ORCID: 0000-0002-1576-7824; mishamax73@mail.ru

Kryuchkov Sergey Nikolaevich, doctor of sciences, professor, chief researcher

ORCID: 0000-0001-8338-6460; kryuchkovs@vfanc.ru

Egorov Sergey Anatoljevich, junior researcher, post graduate student

ORCID: 0000-0001-8234-7355; serzh-egorov-94@mail.ru

Romanenko Almagul Kadyrgalievna, junior researcher, post graduate student

ORCID: 0000-0002-6705-6135; romanenko-ak@vfanc.ru

Federal scientific center for agroecology, complex reclamation and protective afforestation of the Russian academy of sciences; 400062, Volgograd, Universitetskij prospect, 97, Russia

Annotation. The aim of the study was to study the effect of the biostimulator of growth «Bioslim» on the germination and development of seeds and seedlings of woody species in order to develop a resource-saving technology of cultivation for nursery breeding in the Volgograd region. The objects of research were the woody species *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Populus bolleana* Louche., *Populus nigra* var. *italica* Münchh., *Catalpa bignonioides*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.), *Platycladus orientalis* (L.) Franco., *Picea pungens* Engelm. of different geographical origin. As a result of the conducted studies, the best result was shown by poplars and catalpa with a concentration of «Bioslim» at a dose of 2.5 l/ha (20 ml) for cuttings and 20 ml/l for seeds. The concentration of the preparation at a dose of 10 ml/l kg (the consumption of the working solution is 1.5-2 l/kg) with soaking of seeds before sowing for 10-20 minutes, followed by drying, was suitable for *Robinia pseudoacacia*. The concentration of the preparation in a dose of 10 ml/l with soaking of the seeds before sowing for 10-20 minutes followed by drying was suitable for robinia pseudoacacia. The worst result in the test of laboratory germination of seeds was shown by oak petiole, due to the lack of reaction of seeds to processing and their mold formation. In coniferous species, the best result was shown by Crimean pine with a concentration of the preparation «Bioslim» of 10 ml/l and 2.5 l/ha. The germination of spruce and thuja seeds was weak. According to the results of the test of the preparation «Bioslim» on seedlings and seeds in a nursery on dark chestnut soils, the best result was shown by seedlings of poplar and catalpa species with a concentration of «Bioslim» at a dose of 2.5 l/ha and 20 ml/l for seeds. Additional top dressing with poplar preparation proved to be effective, after which good growth, development and leafing of plants were observed. Seedlings and seeds of eastern thuja and blue spruce after additional processing grew and developed satisfactorily, subsequently their drying and loss was observed, which makes the topic of testing biostimulators of growth on conifers is promising for further research.

Keywords: Bioslim, woody species, growth, development, Volgograd region, biostimulators of growth

Format of citation: Solomentseva A.S., Solonkin A.V., Kryuchkov S.N., Egorov S.A., Romanenko A.K. The effect of the preparation «Bioslim» on the growth and development of seeds and seedlings of woody species in the arid zone // *Prirodobustrojstvo*. 2023. No. 1. S. 129-136. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-129-136.

Введение. Нивелировать негативное воздействие погодных факторов в Волгоградской области можно за счет корректировки и усовершенствования технологии выращивания растений [1]. Важной особенностью лесных насаждений в засушливых регионах является их влияние на весь комплекс факторов окружающей среды. Применение биостимуляторов роста в питомниководстве позволит получить ускоренный рост и развитие исследуемых видов, устойчивые урожаи в любых погодных условиях, повысит устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: высоким и низким температурам, поражаемости болезнями и вредителями. Это даст возможность получать более стабильный выход продукции, тем самым делая ее экономически выгодной и улучшая лесорастительные условия Волгоградской области.

Анализ литературы показал, что препарат «Биостим» успешно применялся на садовых растениях и имел высокую эффективность. В работах, посвященных данному биостимулятору, указано, что с его использованием при выращивании

садовой земляники урожайность увеличивалась на 19,2 и 63,4% [2]. Индивидуальная реакция исследуемых сельскохозяйственных сортов проявлялась редко, и препарат давал положительный результат использования [3]. Защита растений от болезней и вредителей может быть оптимизирована за счет внесения препарата путем некорневой подкормки [4]. Отличный результат препарат «Биостим» показал при сортоиспытании черной смородины, когда наилучшим был прирост у черенка (23, 7 см) увеличилось в сравнении с контрольным вариантом число корней [5, 6].

При обработке винограда до применения препарата саженцы развивались слабо, но после обработки «Биостимом» их прирост увеличивался до 1,5-2 м [9, 10]. Биостимуляторы роста в настоящее время успешно применяют в биотехнологиях, при технологии *embrioresque*, что увеличивает выживаемость зародышей древесных и кустарниковых видов [9].

Вопросы испытания «Биостима» на древесно-кустарниковых видах аридной зоны

малоизучены и представляют собой особую актуальность. Интродукционные испытания и разработка технологии размножения древесно-кустарниковых растений с оценкой их перспективности необходимы для внедрения в сложных условиях Волгоградской области. Виды деревьев и кустарников, обладающие высокими адаптивными возможностями, устойчивостью к экстремальным абиотическим условиям, особенно ценятся при использовании их в аридных условиях, поэтому разработка элементов ускоренной технологии их размножения является перспективной.

Цель исследований: испытание биостимулятора роста «Биостим Старт» для ускоренного выращивания селекционно-улучшенного посадочного материала деревьев и кустарников в засушливом регионе.

Материалы и методы исследований. Подбор видов для создания постоянной лесосеменной базы для защитного лесоразведения разрабатывался на основе комплексных исследований и обобщений многолетнего опыта создания и эксплуатации селекционно-семеноводческих комплексов (ССК), созданных в коллекционном фонде Нижневолжской станции по селекции древесных пород (г. Камышин, г. Дубовка, Калачевского района, г. Волгоград).

Объектом исследований являлись виды *Quercus robur* L. (дуб черешчатый), *Robinia pseudoacacia* L. (робиния псевдакация), *Populus bolleana* Louche. (тополь Болле), *Populus nigra var. Italic* Münchh. (тополь пирамидальный), *Catalpa bignonioides* L. (катальпа бигнониевидная) и хвойные виды *Pinus nigra subsp. Pallasiana* (Lamb.) (сосна крымская), *Platycladus orientalis* (L.) Franco (туя восточная), *Picea pungens* Engelm. (ель голубая).

Отбор ценных насаждений и отдельных элитных экземпляров для питомниководства осуществлялся по прямым признакам: зимостойкость, засухо- и солеустойчивость, плодоношение, нетребовательность к почвам, светолюбивость (рис. 1). При этом виды помечались и заносились в инвентаризационные карты.

С целью интенсификации прорастания семян и более раннего появления всходов использовали 2 варианта обработки семян препаратом «Биостим Старт»:

- 1) 10 мл/л – замачивание семян перед посевом на 10-20 мин с последующей просушкой;
- 2) 20 мл/л – замачивание семян перед посевом на 10-20 мин с последующей просушкой;
- 3) контроль – марганец (0,5%, замачивание на 5 мин);

4) для сосны крымской – марганец + «Биостим Старт» в концентрации 10 мл/л (замачивание на 5 мин).

В лабораторных условиях проращивание семян проводилось в растительных по стандартной методике [8].

В питомнике глубина заделки семян робинии составляла 3 см, дуба черешчатого – 7 см, катальпы – 3 см, сосны крымской – 2 см, туи восточной – 1 см, ели голубой – 1, 5 см. Семена тополя слегка присыпали мульчирующим материалом (опилки).

При высадке сеянцев использовался рядовой способ. Площадь питомника составляла 10 га. Между отдельными посевными бороздами расстояние на всем засеянном участке было одинаковым – 70 см (рис. 2). Данный тип посадки позволяет механизировать посев и выкопку.

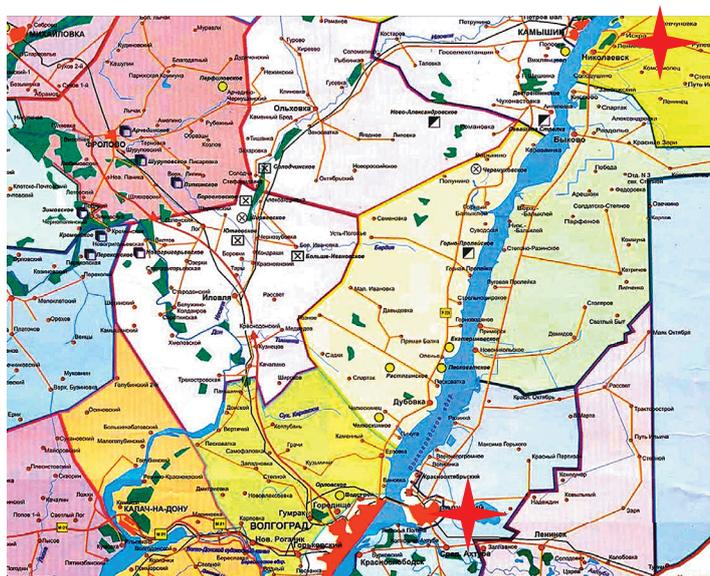


Рис. 1. Объекты исследований на карте и сбор опытного материала

Fig. 1. Objects of research on the map and collection of experimental material

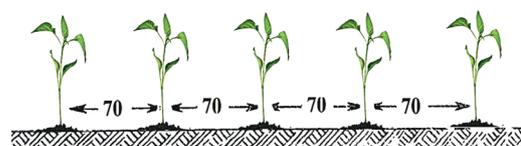


Рис. 2. Схема посадки

Fig. 2. Scheme of plantation

Длина борозды с закладкой опыта с черенками тополей составила 7 м каждая, с семенами катальпы – 5 м. Для хвойных длина полосы составила 2,5 м, количество семян – по 100 шт. в каждом варианте опыта. Почвы участка – светло-каштановые.

Толщина семян у корневой шейки при посадке в питомник составила: у робинии лжеакация – 4 мм; у дуба черешчатого – 3 мм; у ели голубой – 2 мм; у катальпы – 2 мм; у сосны – 1,5 мм; у тополей – 3 мм.

Результаты и их обсуждение. В опыте с семенами первые изменения начали происходить уже на следующий день после обработки препаратом. Так, у семян робинии (контроль) наблюдалось набухание семян, а также их прорастание до 3 мм; с дозировкой препарата 10 мл/л – набухание семян, прорастание до 4 мм. У дуба черешчатого изменения отмечены не были. В варианте опыта с сосной крымской были отмечены набухание и прорастание семян на 2 мм в контроле, интенсивное набухание семян и прорастание на 2 мм – в варианте с дозировкой препарата 10 мл/л. На третий день опыта у семян робинии (контроль) наблюдалось появление одной пары листьев, прорастание до 1 см; с дозировкой препарата 10 мл/л – набухание семян, прорастание до 1 см. У дуба черешчатого изменения не отмечались, за исключением появления пропавших семян в контрольном варианте (рис. 3).

На четвертый после обработки препаратом день у семян робинии (в варианте контроля) был отмечен прирост до 1,5 см. Наблюдалось прорастание 54% семян. С дозировкой препарата 10 мл/л отмечалось прорастание у 61% исследуемых семян; в дозе «Биостима» 20 мл/л отмечен прирост до 1,5 см, а также появление плесневения. У дуба черешчатого изменений по-прежнему не было, и прорастание отсутствовало. При замачивании в 20 мл препарата у сосны крымской зафиксированы прорастание семян до 1,5 см в контроле и появление плесени; интенсивное прорастание до 1 см без плесневения наблюдалось в варианте с дозировкой 10 мл/л.

К концу опыта с проращиванием у семян робинии в варианте без внесения биостимулятора наблюдался прирост до 7 см, а также прорастание семян, которые не дали всходов ранее до 4 см. Общая всхожесть за неделю в варианте контроля составила 74%. С дозировкой препарата 10 мл/л наблюдалось прорастание до 8 см за 2 дня; непроросшие семена проросли на 3 см. За неделю всхожесть составила 78%. В дозировке препарата 20 мл/л прорастание составило до 6 см за 2 дня; непроросших семян – до 3 см. Всхожесть за неделю составила 71%. Однако в данном варианте

было отмечено весьма интенсивное плесневение. У дуба черешчатого за неделю испытания препарата «Биостим» изменений не было, что позволяет отметить неэффективность биостимулятора роста для семян данного вида. Было установлено, что температура +20-22°C является оптимальной для прорастания семян робинии и сосны (рис. 4).



Рис. 3. Разница в прорастании семян у видов *Robinia pseudoacacia* L. и *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.)

Fig. 3. The difference in seed germination in the species *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.)

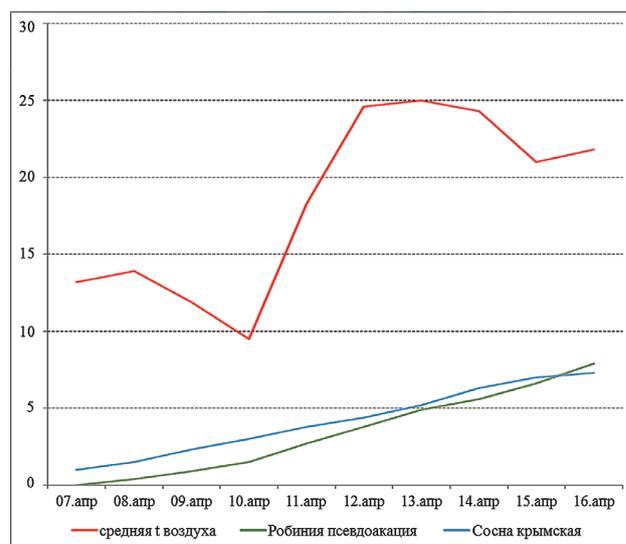


Рис. 4. Зависимость всхожести обработанных семян от температуры воздуха

Fig. 4. Dependence of germination of treated seeds on air temperature

При закладке опытов на питомнике в варианте опыта с дозировкой препарата 1 л/га у сосны крымской был зафиксирован прирост сеянцев до 8,4 см в варианте контроля; грунтовая всхожесть семян за неделю наблюдений на опытном участке составила 88%. В дозировке препарата 2,5 л/га отмечались наилучший прирост сеянцев (до 9,5 см) и грунтовая всхожесть семян (94%). В варианте с добавлением марганца с биостимулятором роста наблюдались приросты до 8,2 см, но всхожесть составила 87%.

Лучшее воздействие препарата наблюдалось в вариантах посадок сеянцев тополей, которые давали наибольший прирост, лучше росли и развивались. Оптимальный рост и развитие наблюдались у всех древесных видов в вариантах опыта с дозой 2,5 л/га. Ель голубая и туя восточная реагировали на обработку хуже, и их прирост был менее интенсивным. При внесении препарата в дозе 5 л/га количество корней первого порядка и почек на сеянцах было меньшим, чем в вариантах с меньшей дозировкой (табл. 1).

Таблица 1. Влияние различных доз препарата «Биостим» на рост и развитие почек и корней сеянцевопытных видов

Table 1. The effect of different doses of the preparation «Biostim» on the growth and development of buds and roots of seedling-experient species

Вид <i>Species</i>	Вариант опыта <i>Experiment option</i>	Даты наблюдений <i>Observation dates</i>		Количество почек на одном сеянце, шт. <i>Number of buds per seedling, pcs.</i>	Количество корней первого порядка <i>Number of first-order roots</i>
		26.05	12.09		
Сосна крымская <i>Crimean pine</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	3,2	8,4±1,0	1	3
	1 л/га	3,3	9,3±1,2	1	2
	2,5 л/га	3,6	9,5±0,8	1	5
	5 л/га	3,5	9,2±1,3	1	4
	Марганец+ 10 мл/л <i>Manganese + 10 ml/l</i>	3,4	8,2±1,1	1	4
Дуб черешчатый <i>Oak petiole</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	10,5	19,9±1,0	13	14
	1 л/га	11,0	20,8±0,6	14	13
	2,5 л/га	11,7	21,3±1,9	15	15
	5 л/га	10,9	20,5±0,9	12	9
Робиния лжеакация <i>Robinia pseudoacacia</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	7,8	33,8±1,2	15	7
	1 л/га	7,1	42,1±1,3	16	6
	2,5 л/га	8,2	47,0±1,7	14	6
	5 л/га	7,6	36,4±1,2	13	5
Тополь Болле <i>Bolle's poplar</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	9,8	25,9±1,9	15	17
	1 л/га	10,7	57,2±1,8	17	19
	2,5 л/га	11,6	69,1±1,7	18	16
	5 л/га	10,2	44,3±1,2	16	16
Тополь пирамидальный <i>Pyramidal poplar</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	10,5	32,2±1,2	17	13
	1 л/га	10,2	55,1±1,4	16	11
	2,5 л/га	12,0	58,4±1,3	19	17
	5 л/га	11,1	49,2±1,3	15	14
Катальпа бигнониевидная <i>Catalpa bignoniiform</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	9,9	25,7±1,7	12	15
	1 л/га	8,7	23,2±1,2	11	13
	2,5 л/га	9,5	33,7±1,4	13	17
	5 л/га	8,2	22,8±1,2	11	14
Туя восточная <i>Eastern thuja</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	3,8	8,5±1,1	6	5
	1 л/га	2,6	7,9±1,9	5	4
	2,5 л/га	3,9	9,1±2,0	6	7
	5 л/га	2,9	7,2±2,2	4	5
Ель голубая <i>Blue spruce</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	2,1	5,4±0,6	1	2
	1 л/га	2,5	5,2±0,4	1	3
	2,5 л/га	2,8	6,1±0,5	1	3
	5 л/га	2,4	4,3±0,3	1	2

Таблица 2. Динамика роста сеянцев в высоту

Table 2. Dynamics of growth of seedlings in height

Вид <i>Species</i>	Вариант опыта <i>Experiment option</i>	Даты наблюдений / <i>Observations dates of</i>			
		26.04	26.05	26.06	26.07
Сосна крымская <i>Crimean pine</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	2,1	3,2	4,3	6,7
	1 л/га	2,3	3,3	4,2	5,9
	2,5 л/га	2,8	3,6	4,8	6,9
	5 л/га	2,6	3,5	4,7	6,4
	Марганец + 10 мл/л <i>Manganese + 10 ml/l</i>	2,5	3,4	4,7	6,2
Дуб черешчатый <i>Oak petiole</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	8,1	10,5	11,4	17,6
	1 л/га	9,4	11,0	12,8	18,8
	2,5 л/га	9,9	11,7	16,1	18,9
	5 л/га	9,8	10,9	11,6	19,1
Робиния лжеакация <i>Robinia pseudoacacia</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	6,1	7,8	27,0	28,3
	1 л/га	5,9	7,1	28,2	30,1
	2,5 л/га	6,8	8,2	29,7	32,2
	5 л/га	6,9	7,6	28,4	31,7
Тополь Болле <i>Bolle's poplar</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	7,2	9,8	20,8	23,1
	1 л/га	8,4	10,7	44,3	48,4
	2,5 л/га	9,2	11,6	53,2	56,2
	5 л/га	8,5	10,2	23,8	37,6
Тополь пирамидальный <i>Pyramidal poplar</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	8,8	10,5	26,1	29,0
	1 л/га	8,1	10,2	48,4	52,5
	2,5 л/га	8,9	12,0	50,0	53,9
	5 л/га	9,0	11,1	42,8	45,1
Катальпа бигнониевидная <i>Catalpa bignonioides</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	7,2	9,9	19,8	22,8
	1 л/га	6,9	8,7	17,1	19,7
	2,5 л/га	5,3	9,5	27,3	30,1
	5 л/га	6,8	8,2	16,2	18,7
Туя восточная <i>Eastern thuja</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	1,9	3,8	5,2	7,9
	1 л/га	1,7	2,6	5,0	6,8
	2,5 л/га	1,9	3,9	7,9	8,4
	5 л/га	2,1	2,9	5,2	6,5
Ель голубая <i>Blue spruce</i>	Контроль / <i>Control l/ha</i>	1,9	2,1	3,1	4,7
	1 л/га	1,8	2,5	3,5	4,5
	2,5 л/га	1,9	2,8	3,7	4,9
	5 л/га	1,8	2,4	3,0	3,7

Для видов тополей Болле и пирамидальный спустя месяц была проведена дополнительная корневая подкормка в дозе 2,0-7,0 л/га во всех вариантах опыта, исключая контроль, после чего авторами было отмечено увеличение интенсивности приростов.

Аналогичное состояние сеянцев наблюдалось в вариантах опытов с сосной крымской: погибло всего одно растение в контроле, остальные отличались хорошими жизненностью, ростом и развитием (рис. 5). Наихудшее состояние в опыте после дополнительной обработки было отмечено у ели голубой. Низкий прирост и усыхание были зафиксированы у туи



Рис. 5. Виды *Catalpabignonioides*, *Populusnigravar. italica* Münchh. и *Pinusnigrasubsp. pallasiana* (Lamb.) после окончания опыта
Fig. 5. Species *Catalpabignonioides*, *Populusnigravar. italica* Münchh. and *Pinusnigrasubsp. pallasiana* (Lamb.) after the end of the experiment

восточной, что требует изучения реакции данных хвойных видов на применение других биостимуляторов роста.

Выводы

Установлено, что для семян робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) наиболее подходящим является вариант обработки препаратом в концентрации 10 мл/л с замачиванием семян перед посевом на 10-20 мин с последующей просушкой. Для семян дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) препарат «Биостим» неэффективен в любых концентрациях после стратификации ввиду

отсутствия реакции на обработку. Для сосны крымской *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) подходит вариант дозирования препарата в концентрации 10 мл/л и 20 мл/л. Для сеянцев тополей и катальпы в полевых испытаниях наилучшим вариантом оказалась концентрация препарата «Биостим» в дозе 2,5 л/га (20 мл): на данных концентрациях препарата растения показали наилучшие рост и развитие. Туя восточная и ель голубая после применения «Биостима» в различных вариантах дозирования росли и развивались слабо, поэтому для данных видов перспективной тематикой является изучение других биостимуляторов роста.

Работа выполнена по теме Государственного задания № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

The work was carried out on the topic of the State Task No. 122020100448-6 «Creation of new competitive forms, varieties and hybrids of cultivated, woody and shrubby plants with high productivity, quality and increased resistance to adverse environmental factors, new innovative technologies in seed production and nursery, taking into account the varietal characteristics and soil and climatic conditions of the arid territories of the Russian Federation».

Список использованных источников

1. Solomentseva A.S., Kolmukidi S.V., Lebed N.I. et al. Tree-shrub species promising for protective afforestation and planting in the Volgograd region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012056. DOI 10.1088/1755-1315/579/1/012056.
2. Давлетов А.М., Ахметшин К.К., Байгузина А.Н. Эффективность применения стимуляторов роста «Биостим» и «Корнесил» на растениях земляники садовой в лабораторных условиях // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: материалы Международной научно-практической конференции. Уфа: БГАУ, 2020. С. 97-102.
3. Тычинская И.Л., Панарина В.И. Опыт применения микроудобрений серии Интермаг профи и биостимулятора Биостим на различных сельскохозяйственных культурах (обзор) // Вестник аграрной науки. 2020. № 6(87). С. 45-54. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.6.45.
4. Мисриева Б.У. Урожай и качество винограда при применении системы некорневого питания // Защита и карантин растений. 2021. № 10. С. 15-17. DOI 10.47528/1026-8634_2021_10_15.
5. Кошева О.Н. Применение регуляторов роста при зеленом черенковании селекционных сортов образцов смородины черной // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47, № 2(255). С. 22-25.
6. Бопп В.Л. Обзор современных решений повышения ризогенеза зеленых черенков *Ribes nigrum* L. // Вестник КрасГАУ. 2021. № 4(169). С. 51-59. DOI 10.36718/1819-4036-2021-4-51-59.
7. Гаврилов Р.Б., Заманиди П.К., Мельник Н.И. и др. Влияние стимуляторов роста на урожай и качество растений винограда // Политематический сетевой

References

1. Solomentseva A.S. Tree-shrub species promising for protective afforestation and planting in the Volgograd region / Solomentseva A.S., Kolmukidi S.V., Lebed N.I. [et al.]. / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012056. DOI 10.1088/1755-1315/579/1/012056.
2. Effektivnost primeneniya stimulyatorov rosta "Biostim" i "Kornesil" na rasteniyah zemlyaniki sadovoj v laboratornyh usloviyah / A.M. Davletov, K.K. Ahmetshin, A.N. Bajguzhina // Sovremennoe sostoyanie, traditsii i innovatsionnye tehnologii v razvitii APK: materialy mezh-dunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii Ufa: BGAU, 2020. S. 97-102.
3. Tychinskaya I. L., Panarina V. I. Opyt primeneniya mikroudobrenij serii Interomag profi i biostimulyatora Biostim na razlichnyh sel'skokozyajstvennyh kulturah (obzor) // Vestnik agrarnoj nauki. 2020. № 6(87). S. 45-54. DOI 10.17238/issn2587-666X.2020.6.45.
4. Misrieva B. U. Urozhaj i kachestvo vinograda pri primenenii sistemy nekorneвого pitaniya // Zashchita i karantin rastenij. 2021. № 10. S. 15-17. DOI 10.47528/1026-8634_2021_10_15.
5. Kosheva O. N. Primenenie regulyatorov rosta pri zelenom cherenkovanii selektsionnyh sortobraztsov smorodiny chernoj // Sibirskij vestnik selskokozyajstvennoj nauki. 2017. T. 47. № 2(255). S. 22-25.
6. Bopp V. L. Obzor sovremennyh reshenij povyshe-niya rizogeneza zelenykh cherenkov *Ribes nigrum* L. // Vestnik KrasGAU. 2021. № 4(169). S. 51-59. DOI 10.36718/1819-4036-2021-4-51-59.
7. Gavrilov R. B. Vliyanie stimulyatorov rosta na urozhaj i kachestvo rastenij vinograda / Gavrilov R. B., Zamaniidi P. K., Melnik N. I. [i dr.]. // Politematicheskij setevoy

электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2004. № 5. С. 237-248.

8. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М.: 1998. 31 с.

9. Мисриева Б.У. Урожай и качество винограда при применении системы некорневого питания // Защита и карантин растений. 2021. № 10. С. 15-17. DOI 10.47528/1026-8634_2021_10_15.

10. Савченко О.М., Мотина Е.А., Минязева Ю.М. и др. Применение регуляторов роста для стимуляции доразвития зародышаи повышения всхожести семян двух видов рода *Aconitum*L. биокolleкции ВИЛАР // Вестник КрасГАУ. 2019. № 4(145). С. 48-54.

Критерии авторства

Соломенцева А.С., Солонкин А.В., Крючков С.Н., Егоров С.А., Романенко А.К. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации

Статья поступила в редакцию 26.11.2022

Одобрена после рецензирования 26.12.2022

Принята к публикации 11.01.2023

elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2004. № 5. S. 237-248.

8. GOST 13056.6-97. Semena derevjev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti. 1998. 31 s.

9. Misrieva B.U. Urozhaj i kachestvo vinograda pri primenenii sistemy nekorneвого pitaniya // Zashchita i karantin rastenij. 2021. № 10. S. 15-17. DOI 10.47528/1026-8634_2021_10_15.

10. Savchenko O.M., Motina E.A., Minyazeva Yu.M. Primenenie regulyatorov rosta dlya stimulyatsii dorazvitiya zarodyshai povysheniya vskhozhesti semyan dvuh vidov roda *Aconitum*L. Biokollekcii VILAR / Savchenko O.M., Motina E.A., Minyazeva Yu.M. [i dr.]. // VestnikKrasGAU. 2019. № 4(145). S. 48-54.

Criteria of authorship

Solomentseva A.S., Solonkin A.V., Kryuchkov S.N., Egorov S.A., Romanenko A.K. 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.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution of the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 26.11.2022

Approved after reviewing 26.12.2022

Accepted for publication 11.01.2023

Оригинальная статья

УДК 630.223: 630.57: 630.468

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-137-144



ОЦЕНКА САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ЛЕСОПАРКАХ ГОРОДА ТЮМЕНИ (НА ПРИМЕРЕ ЭКОПАРКА «ЗАТЮМЕНСКИЙ»)

Данчева Анастасия Васильевна^{1✉}, д-р с.-х. наук

ResearcherID: AAG-7263-2019, ORCID: 0000-0002-5230-7288, РИНЦ: AuthorID: 841847; a.dancheva@mail.ru

Залесов Сергей Вениаминович^{2✉}, д-р с.-х. наук, профессор

ResearcherID: AAG-7263-2019, ORCID: 0000-0002-5230-7288, РИНЦ: AuthorID: 185418; zalesov@usfeu.ru

*Назарова Валентина Владимировна*¹, студент

*Эльшанавани Елизавета Евгеньевна*¹, студент

*Ваганова Анастасия Александровна*¹, студент

¹ Государственный аграрный университет Северного Зауралья; 425003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет; 620110, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Россия

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования состояния березовых древостоев экопарка «Затюменский» с использованием показателей санитарного состояния, относительного жизненного состояния, относительной высоты и комплексного оценочного показателя. Установлено, что по показателям санитарного и относительного жизненного состояния березовые древостои на всех пробных площадях характеризуются как ослабленные. Отмечается общая закономерность увеличения количества сильно ослабленных и усыхающих деревьев, а также снижение количества здоровых деревьев с увеличением рекреационного воздействия. В зоне активного посещения количество сильно ослабленных и усыхающих деревьев в 2-9 раз больше, а количество здоровых деревьев в среднем в 3-4 раза меньше в сравнении с зонами умеренного и слабого посещения. Количество сухостойных деревьев по мере удаления древостоя от объекта линейной рекреации уменьшается в 2-5 раз. Анализ видов повреждений стволов деревьев березы показал, что наиболее часто встречающимися являются механические повреждения стволов деревьев и наличие плодовых тел на стволах деревьев. Наибольшее количество деревьев с механическими повреждениями отмечается в зоне активного посещения: до 14% от общего числа деревьев, что в 4-8 раз превышает аналогичный показатель в зоне умеренного и слабого посещения. Наибольшее количество деревьев с плодовыми телами на стволах отмечается в зоне слабого посещения: до 7% от общего количества учтенных деревьев. В целях предотвращения деградации березовых насаждений экопарка «Затюменский» и повышения их устойчивости предложен ряд лесохозяйственных мероприятий: в частности, временное огораживание лесных участков, находящихся в критическом состоянии на период их восстановления; проведение ландшафтных рубок с целью омоложения древостоев и создания рекреационно привлекательных и устойчивых ландшафтов полукрытого типа и т.д.

Ключевые слова: лесопарк, березовый древостой, рекреационное воздействие, санитарное состояние древостоев

Формат цитирования: Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В., Эльшанавани Е.Е., Ваганова А.А. Оценка санитарного состояния березовых древостоев в лесопарках города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») // Природоустройство. 2023. № 1. С. 137-144. DOI: 10.26897/1997-6011-1-137-144.

© Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В., Эльшанавани Е.Е., Ваганова А.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE SANITARY CONDITION OF BIRCH STANDS IN FOREST PARKS OF THE CITY OF TYUMEN (ON THE EXAMPLE OF THE ZATYUMENSKY ECOPARK)

Dancheva Anastasia Vasilyevna^{1✉}, doctor of agricultural sciences, professor

ResearcherID: AAG-7263-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5230-7288>; a.dancheva@mail.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich^{2✉}, doctor of agricultural sciences, professor

ResearcherID: AAG-7263-2019, ORCID: 0000-0002-5230-7288, РИНЦ: AuthorID: 185418; zalesov@usfeu.ru

*Nazarova Valentina Vladimirovna*¹, student
*Elshanavani Elizaveta Evgenievna*¹, student
*Vaganova Anastasia Aleksandrovna*¹, student

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (FSBEI HE) «Northern Trans-Urals State Agricultural University», 625003, Tyumen Region, Tyumen, Republiki Str., 7. Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (FSBEI HE) «Ural State Forest Engineering University», 620100, Ekaterinburg, st. Sibirsky tract, 37. Russia

Annotation. *The results of a study of the state of birch tree stands of the «Zatyumensky» ecopark are presented using indicators of sanitary condition, relative living condition, relative height and a comprehensive assessment indicator. It is established that according to the indicators of sanitary and relative living condition, birch stands in all test areas are characterized as weakened. There is a general pattern of increasing the number of severely weakened and drying trees and decreasing the number of healthy trees with an increase in recreational impact. In the area of active visitation, the number of severely weakened and dying trees is 2-9 times greater, and the number of healthy trees on average is 3-4 times less in comparison with the zones of moderate and weak visits. The number of dead trees decreases by 2-5 times as the tree stand is removed from the object of linear recreation. The analysis of the types of damage to birch tree trunks showed that the most common are mechanical damage to tree trunks and the presence of fruit bodies on tree trunks. The largest number of trees with mechanical damage is noted in the area of active visitation – up to 14% of the total number of trees, which is 4-8 times higher than the same indicator in the zone of moderate and weak visits. The largest number of trees with fruit bodies on the trunks is noted in the area of weak visits – up to 7% of the total number of recorded trees. The largest number of trees with fruit bodies on the trunks is noted in the area of weak visits – up to 7% of the total number of recorded trees. In order to prevent the degradation of birch plantations of the «Zatyumensky» ecopark and increase their sustainability, a number of forestry measures have been proposed, in particular, temporary fencing of forest areas that are in critical condition for the period of their restoration; carrying out landscape felling in order to rejuvenate tree stands and create recreationally attractive and sustainable landscapes of semi-open type, etc.*

Keywords: forest park, birch stand, recreational impact, sanitary condition of stands

Format of citation: Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V., Elshanavani E.E., Vaganova A.A. Assessment of the sanitary condition of birch stands in forest parks of the city of Tyumen (on the example of the Zatyumensky ecopark) // *Prirodobustroystvo. 2023. No. 1. S. 137-144. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-137-144.*

Введение. В условиях нарастающей урбанизации территорий экологическая и рекреационная значимость городских лесов приобретает особую актуальность. Это объясняется уникальными возможностями для отдыха и восстановления физических и эмоциональных сил человека, его комфортного проживания в условиях повышенной техногенной и эмоциональной нагрузки, улучшения окружающей среды, максимального приближения к условиям естественных цветов и звуков лесных насаждений и т.д. [1-3].

Улучшение качества окружающей среды, создание условий для отдыха и комфортного проживания жителей крупных городов мегаполисов невозможны без создания и поддержания в хорошем состоянии лесных парков [4-6]. При этом нерегулируемое рекреационное использование и отсутствие благоустройства городских лесов приводят к негативным изменениям в их составе, структуре и состоянии, а в итоге может привести к деградации лесных насаждений и их гибели.

Рекреационное воздействие на лесные насаждения определяется такими основными факторами, как вытаптывание, механические повреждения, замусоривание, пироженное воздействие и т.д. [7-9]. Одним из важнейших условий рекреационного освоения любой территории является принцип сохранения природной среды.

Рекреационная устойчивость насаждений в значительной степени зависит от их лесоводственно-таксационных показателей и природных условий конкретного региона [10-12].

Для оценки степени деградационных изменений лесных насаждений под влиянием рекреационного воздействия неоспоримое преимущество имеет проведение мониторинговых наблюдений на основе использования лесоводственных методов [5, 13, 14]. Одним из надежных индикаторов состояния и изменений, происходящих в природной среде, является древесная растительность. Поэтому мониторинг древостоев в комплексе с анализом состояния других компонентов лесных насаждений дает достоверные

сведения о происходящих изменениях в рекреационных лесах.

На сегодняшний день отсутствуют научно обоснованные данные о состоянии березовых насаждений экопарка «Затюменский», что определяет важность данного вопроса. Отсутствие достаточно полной актуальной информации особенностей рекреационного лесопользования в условиях городских лесов Тюмени послужило основой для проведения научных исследований в данном направлении. Это является одной из составляющих комплексных исследований состояния лесных насаждений экопарка «Затюменский» г. Тюмени с использованием различных показателей и биоиндикаторов.

Цель исследований: провести оценку современного санитарного состояния березовых древостоев в экопарке «Затюменский» г. Тюмени и разработать предложения по повышению их устойчивости и рекреационной привлекательности.

Материалы и методы исследований. Экопарк «Затюменский» относится к Калининскому административному округу и расположен на окраине г. Тюмени в его западной части. Общая площадь экопарка составляет 77,2 га. Географические координаты центральной точки экопарка: 57.163426 с.ш., 65.460118 в.д.

Экопарк «Затюменский» создан 22 августа 1968 г. и в настоящее время является вторым по величине лесопарком в Тюмени. По категории защитности экопарк относится к особо охраняемым природным территориям (ООПТ) и представляет собой памятник природы регионального значения [15, 16]. Парк характеризуется развитой современной структурой, оборудован всеми необходимыми элементами благоустройства (прогулочно-велосипедная сеть дорог, зоны отдыха, элементы освещения, спортивные площадки, зоны выгула собак и т.д.).

Согласно лесорастительному районированию территория экопарка относится к Западно-Сибирскому подтаежно-лесостепному району [17]. По составу в экопарке «Затюменский» преобладают сосновые насаждения – до 58% от общей площади лесов. На долю березовых насаждений приходится до 40% общей площади парка.

Для ландшафтов г. Тюмени характерны пологие, несколько холмистые равнины, представляющие собой сочетания таких ценозов, как сосново-березовые леса, березовые широколиственные леса, ельники-зеленомошники и некоторые из групп сосняков [18]. Система почв в г. Тюмени представлена озерно-аллювиальными и аллювиальными равнинами, сложенными слоистыми песчано-суглинистыми отложениями [12].

Объектом исследований являлись березовые древостои естественного происхождения VI-VII классов возраста. Подлесок довольно хорошо развит и состоит в основном из малины, калины, рябины, ирги, черемухи и шиповника. Живой напочвенный покров занимает в среднем 30-50% общей площади и представлен в основном на временной пробной площади (ВПП)-2 и ВПП-3 подмаренником, вероникой, костяникой, одуванчиком, клевером. На ВПП-1 в ЖНП преобладают представители злаковых.

Для оценки состояния древостоев использовали показатели санитарного состояния, жизненного состояния, относительной высоты и комплексного оценочного показателя (КОП) [19].

Категория санитарного состояния древостоя определяется по значению средней категории санитарного состояния, рассчитанной через соотношение сумм запасов деревьев первой, второй, третьей и т.д. категорий санитарного состояния к общему запасу деревьев на ВПП [20]. Древостой характеризуется: как здоровый – при $K_c = 1,0-1,5$; как ослабленный – при $K_c = 1,6-2,5$; сильно ослабленный – при $K_c = 2,6-3,5$; отмирающий – при $K_c = 3,6-4,6$; отмерший – при $K_c = 4,6$ и более.

Жизненное состояние деревьев определялось по состоянию ствола с учетом наличия повреждений различного происхождения и характеристики ассимиляционного аппарата с использованием шкалы: от 100 до 80% жизненное состояние древостоя оценивается как «здоровое»; от 79 до 50% древостой считается поврежденным (ослабленным); от 49 до 20% – сильно поврежденным (сильно ослабленным); 19% и ниже – полностью разрушенным.

Комплексный оценочный показатель (КОП), или коэффициент напряженности роста, рассчитывался по отношению высоты дерева к площади его поперечного сечения, $см/см^2$. Для анализа использованы следующие оптимальные значения КОП: в древостоях до 20 лет – 15-25; 20-30 лет – 10-18; 40-70 лет – 5-8; 80 лет – 4; свыше 100 лет – 2-3 $см/см^2$.

Показатель относительной высоты (H/D) рассчитывался как отношение высоты дерева, см, к его диаметру, см. При значении H/D более 100 состояние деревьев оценивалось как ослабленное.

Основные таксационные показатели деревьев определялись с использованием стандартных методов [19]. Полученные данные обрабатывались общепринятыми статистическими методами с помощью программ Excel.

Для оценки состояния сосновых древостоев заложены 3 временные пробные площади (ВПП) с перечетом всех деревьев на них. При закладке

ВПП учитывали принцип их удаленности от мест массового отдыха (в нашем случае линейный объект рекреации – благоустроенная дорога для пешеходного и велосипедного перемещения) по ранее отработанной методике [10]. ВПП-1 заложена в березняке, непосредственно примыкающем к линейному объекту, и отнесена к зоне активного посещения; ВПП-2 заложена на расстоянии 20 м и отнесена к зоне умеренного посещения; ВПП-3 заложена на расстоянии 40 м от объекта рекреации и отнесена к зоне слабого посещения (условно – контроль).

На ВПП-2 и ВПП-3 тропиочная сеть отсутствовала, на ВПП-1 тропинки были неявно выраженными.

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 представлены средние значения основных таксационных показателей и показателей состояния исследуемых березовых древостоев экопарка «Затюменский».

Объекты исследований представлены чистыми по составу березняками II класса бонитета. По показателю относительной полноты древостоев на всех пробных площадях являются высокополнотными.

Анализ таксационных показателей березовых древостоев на ВПП показывает, что явные различия между средними значениями диаметров и высот древостоев не отмечаются. Высота древостоев на всех ВПП одинакова. Диаметр

на ВПП-1 на 5-7% превышает аналогичный показатель на ВПП-2 и ВПП-3 (табл. 1).

Сухостойные деревья встречаются на всех пробных площадях. При этом отмечается увеличение их количества и запаса со снижением рекреационного воздействия. Так, на ВПП-2 и ВПП-3 в зоне умеренного и слабого посещения соответственно рассматриваемые показатели в 1,5-4 раза больше в сравнении с ВПП-1, расположенной в зоне активного посещения. Одним из объяснений наблюдаемой закономерности является своевременная уборка сухостойных деревьев в древостое, произрастающем вблизи объектов активной рекреации: игровых площадок, вдоль линейных объектов рекреации – пешеходных и велосипедных дорожек и т.д.

По данным проведенного однофакторного дисперсионного анализа, достоверные различия в значениях высоты, диаметра отсутствуют между березовыми древостоев на всех ВПП (табл. 2).

Анализ состояния исследуемых березовых древостоев свидетельствует о том, что по среднему значению санитарного состояния (Кс) и относительного жизненного состояния (ОЖС) древостоев на всех ВПП характеризуются как ослабленные. При этом на ВПП-1, непосредственно прилегающей к линейному объекту рекреации, состояние березового древостоя по анализируемым показателям приближено к нижнему предельному

Таблица 1. Средние значения таксационных показателей березовых древостоев в зависимости от рекреационного воздействия

Table 1. Average values of taxation indicators of birch stands depending on recreational impact

Показатель / Indicator		ВПП-1	ВПП-2	ВПП-3
Состав древостоя / Composition of the stand		9Б1С	9Б1СедКл	10Б
Диаметр, см / Diameter, cm		26,3±0,7	28,2±1,1	27,6±0,7
Высота, м / Height, m		19,8±0,2	19,6±0,6	19,6±0,4
Полнота / Fullness	абсолютная, м ² / absolute, m ²	28,5	27,8	30,8
	относительная / relative	1,0	1,0	1,1
Густота произрастания, шт./га / Growth density, pcs./ha		480	407	440
Количество сухостоя, шт./га / Number of deadwood, pcs./ha		8	14	36
Запас, м ³ /га / Stock, m ³ /ha		263	252	281
Запас сухостоя, м ³ /га / Stock of deadwood, pcs./ha		4	8	11
Класс бонитета / Bonitet class		II	II	II
Категория санитарного состояния, Кс / Category of sanitary condition, Cs		2,1	1,7	1,7
ОЖС, % / Relative living condition		61,2±1,3	68,5±1,5	67,4±1,9
КОП, см/см ² / Comprehensive assessment indicator, cm/cm ²		4,3±0,2	3,7±0,2	4,1±0,2
Относительная высота (H/D) / Relative height (H/D)		79,7±1,4	72,8±1,5	75,0±1,3

значению категории «Ослабленные», то есть можно говорить о снижении состояния этих березняков вплоть до перехода их в категорию «Сильно ослабленные».

Статистически достоверные различия отмечаются по значению показателя относительного жизненного состояния между березняками на ВПП-1 в зоне активного посещения, ВПП-2 и ВПП-3 – в зоне умеренного и слабого посещения соответственно (табл. 2).

Снижение показателей состояния древостоя на ВПП-1 в сравнении с ВПП-2 и ВПП-3 объясняется преобладанием в нем деревьев ослабленных и сильно ослабленных и наименьшим количеством здоровых экземпляров (табл. 3). Так, число усыхающих и сильно ослабленных деревьев на ВПП-1 в 2-9 раз, а ослабленных экземпляров – в 1,5-2 раза больше в сравнении с ВПП-2 и ВПП-3. Количество здоровых деревьев, наоборот, в 3-3,5 раза меньше. Отмечено, что количество деревьев сильно ослабленных с наличием механических повреждений увеличивается при приближении к линейному объекту рекреации (пешеходным и велосипедным дорожкам).

В результате исследований установлено, что количество сухостойных

деревьев по мере удаления древостоя от объекта рекреации уменьшается. Так, на ВПП-1 количество свежего сухостоя не превышает 2% от общего числа деревьев, что в 1,5 и 5 раз меньше в сравнении с ВПП-2 и ВПП-3, расположенных в зоне умеренного и слабого посещения на расстоянии 20 и 40 м соответственно от объекта рекреации.

В ходе исследований установлена взаимосвязь санитарного состояния деревьев с их диаметрами, которая наиболее выражена в зоне активного посещения. По данным рисунка 1 на ВПП-1,

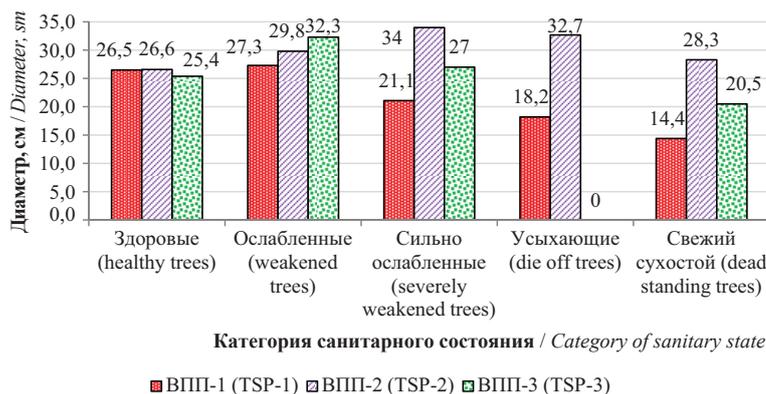


Рис. 1. Взаимосвязь диаметра дерева с категорией санитарного состояния березовых древостоев экопарка «Затюменский»
Fig. 1. The relationship of the diameter of the tree with the category of sanitary condition of birch stands of the Ecopark «Zatyumensky»

Таблица 2. Результаты однофакторного дисперсионный анализ основных таксационных показателей

Table 2. Results of one-factor dispersion analysis of the main taxation indicators

Показатели дисперсии для основных таксационных показателей Indicators of dispersion for main taxation indicators		Сравниваемые пробные площади Comparable test areas		
		ВПП-1 и ВПП-2	ВПП-1 и ВПП-3	ВПП-2 и ВПП-3
Диаметр Diameter	F-фактическое / F-actual	3,5	1,6	0,3
	P-значение / P-value	0,06	0,2	0,6
Высота Height	F-фактическое / F-actual	0,5	0,8	0,05
	P-значение / P-value	0,5	0,3	0,8
Относительное жизненное состояния Relative living condition	F-фактическое / F-actual	14,0	7,2	0,2
	P-значение / P-value	0,0002	0,08	0,6
F-критическое / F-critical		3,8	3,8	3,8

Таблица 3. Распределение деревьев на пробных площадях по категориям санитарного состояния, %

Table 3. Distribution of trees in test areas by categories of sanitary condition, %

№ пробной площади № of test area	Категория санитарного состояния / Category of sanitary condition				
	Здоровые healthy	Ослабленные weakened	Сильно ослабленные Severely weakened	Усыхающие drying	Свежий сухостой Fresh deadwood
ВПП-1	14,8	71,3	10,7	1,6	1,6
ВПП-2	43,6	51,5	1,0	1,0	3,0
ВПП-3	50,4	37,0	5,0	0,0	7,6

расположенной рядом с объектом рекреации, сильно ослабленные, усыхающие и сухостойные деревья характеризуются наименьшими диаметрами. Здоровые по состоянию деревья имеют наибольшие диаметры. Данный факт объясняется наибольшим негативным воздействием рекреации на отставшие в росте деревья. На ВПП-2 и ВПП-3 в зоне умеренного и слабого посещения диаметры деревьев всех категорий санитарного состояния сравнительно одинаковы.

Выявленная взаимосвязь состояния деревьев с их диаметрами подтверждается полученными данными анализа показателя относительной высоты (H/D), представленного в таблице 4. С увеличением рекреационного воздействия отмечается увеличение деревьев, значение относительной высоты которых больше 100 (H/D>100). Следует отметить, что деревья со значением относительной высоты (H/D)>100 характеризуются меньшими диаметрами по отношению к их высоте. Такие деревья являются биологически неустойчивыми. На ВПП-1 количество деревьев со значением относительной высоты (H/D>100) в 3-6 раз больше в сравнении с ВПП-2 и ВПП-3. Деревья, относительная высота которых составляет больше 100, имеют наименьшие значения диаметра по сравнению с аналогичным показателем деревьев, относительная высота которых меньше 100. Данная закономерность отмечается в древостоях на всех пробных площадях. Относительное жизненное состояние деревьев с H/D>100 на ВПП-1 в зоне активного посещения характеризуется как сильно ослабленное. На ВПП-2 и ВПП-3 отмечается обратная ситуация: деревья с H/D>100 относятся к категории состояния «Здоровые».

Таким образом, можно сделать вывод о том, что рекреационное

воздействие приводит в первую очередь к ослаблению и последующей гибели более мелких по диаметру деревьев березы. Количество таких деревьев в древостое влияет на его общее состояние и рекреационную устойчивость.

В ходе исследований произведена оценка степени поврежденности деревьев в различных по рекреационному воздействию функциональных зонах. Наиболее частыми на пробных площадях являются механические повреждения. Отмечается общая закономерность увеличения количества деревьев с механическими повреждениями стволов с увеличением рекреационного воздействия. Так, на ВПП-1 их количество достигает 14% от общего числа деревьев, что в 3,5-8 раз больше в сравнении с ВПП-2 и ВПП-3, расположенных в зоне умеренного и слабого посещения на расстоянии 20 м и 40 м соответственно от объекта линейной рекреации. При этом со снижением рекреационного воздействия отмечается увеличение количества деревьев с плодовыми телами грибов. На ВПП-1 количество деревьев с плодовыми телами грибов в 2,6 раза меньше в сравнении с ВПП-3.

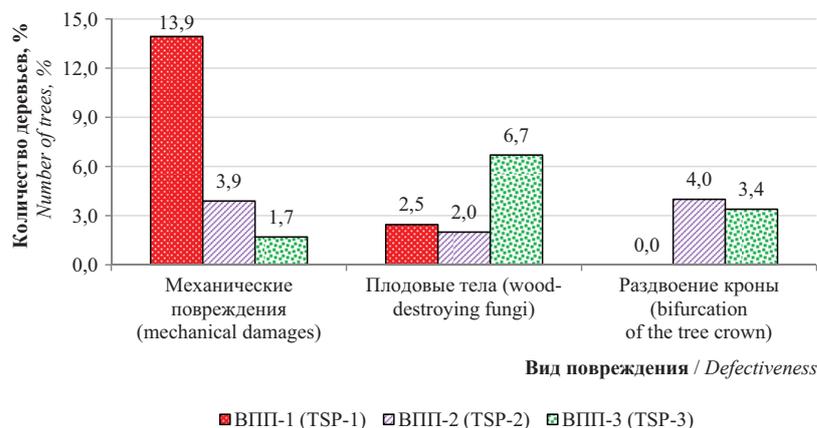


Рис. 2. Распределение видов повреждений стволов деревьев березы на временных пробных площадях (ВПП)

Fig. 2. Distribution of types of damage to birch tree trunks in temporary test areas (VPP)

Таблица 4. Взаимосвязь показателя относительной высоты с диаметром деревьев и показателем относительного жизненного состояния в исследуемых березняках

Table 4. The relationship of the relative height indicator with the diameter of the trees and the indicator of the relative living condition in the studied birch trees

№ пробной площадки № of test area	H/D >100			H/D <100		
	Количество деревьев, % Number of trees, %	Диаметр, см Diameter, cm	ОЖС, % Relative living condition, %	Количество деревьев, % Number of trees, %	Диаметр, см Diameter, cm	ОЖС, % Relative living condition, %
ВПП-1	12,3	16,1	55,3	87,8	27,6	61,5
ВПП-2	2,0	13,1	82,9	98,0	28,5	68,3
ВПП-3	4,2	13,4	81,8	95,8	28,2	66,7

Выводы

1. На всех пробных площадях березняки по показателю санитарного состояния и относительному жизненному состоянию характеризуются как ослабленные. Отмечается общая закономерность увеличения количества сильно ослабленных и усыхающих и снижение количества здоровых деревьев с увеличением рекреационного воздействия, что приводит к снижению устойчивости березовых древостоев.

2. Количество сухостойных деревьев по мере удаления древостоя от объекта рекреации уменьшается. В непосредственно прилегающем к линейному объекту рекреации березняке (ВПП-1) количество свежего сухостоя не превышает 2% от общего числа деревьев, что в 1,5 и 5 раз меньше в сравнении с ВПП-2 и ВПП-3, расположенных в зоне умеренного и слабого посещения на расстоянии 20 и 40 м соответственно от объекта рекреации.

3. Анализ видов повреждений стволов деревьев в экопарке «Затюменский» показал, что наиболее часто встречающимися являются механические повреждения и плодовые тела грибов на стволах деревьев. Максимальное количество деревьев с механическими повреждениями отмечается в зоне активного посещения: до 14% от общего числа деревьев, что

в 4-8 раз превышает аналогичный показатель в зоне умеренного и слабого посещения.

4. Наибольшее количество деревьев с плодовыми телами грибов наблюдается в зоне слабого посещения: до 7% от общего числа деревьев, что в 2,6 раза меньше в сравнении с зоной активного посещения.

5. В целях предотвращения деградации березовых древостоев экопарка «Затюменский» и повышения их устойчивости можно предложить следующие мероприятия:

► проведение временного огораживания лесных участков, находящихся в критическом состоянии, на период их восстановления;

► перенаправление потока рекреантов на более рекреационно устойчивые участки экопарка;

► создание естественного бордюра вдоль благоустроенной дорожно-тропиночной сети из аборигенных (акация, малины, шиповника и т.д.) и интродуцированных (туя западная и т.д.) древесно-кустарниковых видов, которые будут являться естественной преградой для рекреантов;

► проведение ландшафтных рубок целью омоложения древостоев и созданием рекреационно привлекательных и устойчивых ландшафтов полуоткрытого типа с привлечением различных интродуцентов (туи, кедра корейского, дуба черешчатого и т.д.).

Список использованных источников

1. Хайретдинов А.Ф., Залесов С.В. Введение в лесоводство. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 202 с.
2. Залесов С.В., Хайретдинов А.Ф. Ландшафтные рубки в лесопарках. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 176 с.
3. Седых С.А. Эдафические условия роста хвойных растений на территории города Новочеркасска / Иванисова Н.В., Куринская Л.В. и др. // Природообустройство. 2017. № 1. С. 120-126.
4. Микеладзе Ш.Э. Проблема состава и возрастной структуры древостоев лесопарков г. Екатеринбурга / Бунькова Н.П., Азаренок В.А. и др. / Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 4-1(118). С. 154-158. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.024.
5. Соболев С.В., Байчибаева А.В., Данчева А.В. Экологическая рекреационная емкость как мера запаса лесных рекреационных ресурсов // Аграрный вестник Урала. 2011. № 5. С. 52-55.
6. Залесов С.В. Ценопопуляции лесных и лучевых видов растений в антропогенно нарушенных ассоциациях Нижегородского Поволжья и Поветлужья / Невиdomова Е.В., Невиdomов А.М., Соболев Н.В. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. 204 с.
7. Исаева Р.П., Курбатова Г.В., Шахова К.И. К обоснованию структуры рекреационных лесов // Лесохозяйственная информация. 1991. № 12. С. 14-15.
8. Казанцев П.А., Казанцева М.Н. Жизненное состояние и декоративность деревьев в городских насаждениях г. Тюмени // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 23. С. 173-176.

References

1. Khayretdinov A.F., Zalesov S.V. Vvedenie v lesovodstvo. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2011. 202 s.
2. Zalesov S.V., Khayretdinov A.F. Landshaftnye rubki v lesoparkah. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2011. 176 s.
3. Sedyh S.A. Edaficheskie usloviya rosta hvoynyh rastenij na territorii goroda NovoCherkasska / Ivanisova N.V., Kurinskaya L.V. i dr. // Prirodoobustrojstvo. 2017. № 1. S. 120-126.
4. Mikeladze Sh.E. Problema sostava i vozrastnoj struktury drevostoev lesoparkov g. Ekaterinburga / Bunkova N.P., Azarenok V.A. i dr. / Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2022. № 4-1(118). S. 154-158. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.024.
5. Sobolev S.V., Bajchibaeva A.V., Dancheva A.V. Ekologicheskaya rekreatsiennaya emkost' kak mera zapasa lesnyh rekreatsiennyh resursov // Agrarnyj vestnik Urala. 2011. № 5. S. 52-55.
6. Zalesov S.V. Cenopopulyatsi lesnyh i luchevyh vidov rastenij v antropogenno narushennyh assotsiatsiyah Nizhegorodskogo Povolzh'ya i Povetluzh'ya / Nevidomova E.V., Nevidomov A.M., Sobolev N.V. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2013. 204 s.
7. Isaeva R.P., Kurbatova G.V., Shahova K.I. K obosnovaniyu struktury rekreatsiennyh lesov // Lesohozyajstvennaya informatsiya. 1991. № 12. S. 14-15.
8. Kazantsev P.A., Kazantseva M.N. Zhiznennoe sostoyanie i dekorativnost derevjev v gorodskih nasazhdeniyah g. Tyumeni // Aktualnye problemy lesnogo kompleksa. 2009. № 23. S. 173-176.

9. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В. Мониторинг влияния антропогенных факторов на лесные биогеоценозы Южного побережья оз. Байкал // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 3. С. 244-260. – DOI 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260.

10. Данчева А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость основных насаждений Казахского мелкосопочника. Екатеринбург.: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 195 с.

11. Бунькова Н.П., Залесов С.В. Рекреационная устойчивость и емкость основных насаждений в лесопарках г. Екатеринбурга. Екатеринбург.: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.

12. Кузнецов В.А., Стома Г.В. Влияние рекреации на лесные городские ландшафты (на примере национального парка «Лосиный остров» г. Москвы) // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2013. № 3. С. 27-33.

13. Данчева А.В. Определение стадий рекреационной дигрессии в основных насаждениях Казахского мелкосопочника (на примере ГНПП «Бурабай») / Залесов С.В., Муканов Б.М., Портянко А.В. // Аграрная Россия. 2014. № 10. С. 9-15.

14. Казанцева М.Н. Мониторинг состояния растительного покрова пригородных сосняков г. Тюмени // Экологический мониторинг и биоразнообразие. 2016. № 1 (11). С. 47-51.

15. Официальная страница экопарка «Затюменский» [Электронный ресурс] URL: <http://zatyumenskij-park.ru> (дата обращения: 08.08.2022)

16. Экопарк «Затюменский» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/tyumen/parks/33303> (дата обращения 04.01.2022).

17. ООПТ России // Кадастровое дело № 006. Памятник природы регионального значения «Лесопарк Затюменский» [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Лесопарк-Затюменский/cadastr/pdf> (дата обращения: 24.04.2022).

18. Иваненко А.С., Кулясова О.А. Агроклиматические условия Тюменской области. Тюмень: изд-во ТГСХА, 2008. 206 с.

19. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург.: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.

20. Правиласанитарнойбезопасности в лесах: Утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047.

Критерии авторства

Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В., Эльшанавани Е.Е., Ваганова А.А. 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

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 26.11.2022

Одобрена после рецензирования 21.12.2022

Принята к публикации 15.01.2023

9. Mihajlova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V. Monitoring vliyaniya antropogennykh faktorov na lesnye biogeotsenozy Yuzhnogo poberezhya oz. Bajkal // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. T. 13. № 3. S. 244-260. – DOI 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260.

10. Dancheva A.V., Zalesov S.V., Mukanov B.M. Vliyanie rekreatsionnykh nagruzok na sostoyanie i ustojchivost osnovnykh nasazhdenij Kazahskogo melkosopochnika. Ekaterinburg.: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2014. 195 s.

11. Bunkova N.P., Zalesov S.V. Rekreatsionnaya ustojchivost i emkost osnovnykh nasazhdenij v lesoparkah g. Ekaterinburga. Ekaterinburg.: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2016. 124 s.

12. Kuznetsov V.A., Stoma G.V. Vliyanie rekreatsii na lesnye gorodskie landshafty` (na primere natsionalnogo parka «Losinyj ostrov» g. Moskvy) // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17. Pochvovedenie. 2013. № 3. S. 27-33.

13. Dancheva A.V. Opredelenie stadij rekreatsionnoj digressii v osnovnykh nasazhdeniyah Kazahskogo melkosopochnika (na primere GNPP «Burabay») / Zalesov S.V., Mukanov B.M., Portyanko A.V. // Agrarnaya Rossiya. 2014. № 10. S. 9-15.

14. Kazantseva M.N. Monitoring sostoyaniya rastitelnogo pokrova prigorodnykh sosnyakov g. Tyumeni // Ekologicheskij monitoring i bioraznoobrazie. 2016. № 1 (11). S. 47-51. 15. Ofitsialnaya stranitsa ekoparka «Zatyumenskij» [Elektronnyj resurs] URL: <http://zatyumenskij-park.ru> (data obrashcheniya: 08.08.2022)

16. Ecopark «Zatyumenskij» [Electronic resource]. URL: <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/tyumen/parks/33303> (accessed: 01.04.2022).

17. ООПТ России // Kadaстровое дело № 006. Pamyatnik prirody regionalnogo znacheniya «Lesopark Zatyumenskij» [Elektronnyj resurs]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Lesopark-Zatyumenskij/cadastr/pdf> (data obrashheniya: 24.04.2022).

18. Ivanenko A.S., Kulyasova O.A. Agroklimaticheskie usloviya Tyumenskoj oblasti. Tyumen: izd-vo TGSXA, 2008. 206 s.

19. Dancheva A.V., Zalesov S.V. Ekologicheskij monitoring lesnykh nasazhdenij rekreatsionnogo naznacheniya. Ekaterinburg.: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2015. 152 s.

20. Pravila sanitarnoj bezopasnosti v lesah: Utv. Postanovleniem Pravitelstva Rossijskoj Federatsii ot 9 dekabrya 2020 g. № 2047.

Criteria of authorship

Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V., Elshanavani E.E., Vaganova A.A. 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.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

The article was submitted to the editorial office 26.11.2022

Approved after reviewing 21.12.2022

Accepted for publication 15.01.2023

Юбилей

85-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ИСМАЙЫЛОВА ГАБИЛ ХУДУШ ОГЛЫ

Перминов Алексей Васильевич

Бенин Дмитрий Михайлович

85 лет – серьезный повод рассказать о юбиляре и его достижениях.

Г.Х. Исмайылов – человек, преданный идеалам науки и образования, один из авторитетных представителей нашего профессионального сообщества. В его жизни отражаются многие важнейшие события советской и российской истории последних десятилетий. Прежде всего Г.Х. Исмайылов относится к ряду наиболее известных российских ученых-водохозяйственников –

он внес значительный вклад в моделирование водохозяйственных систем Средней Азии, Волжского бассейна и бассейна р. Дон.

Исмайылов Габил Худуш оглы – профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ. Он родился 24 декабря 1937 г. в городе Шуша Нагорной Карабахской автономной области Азербайджанской Республики, в семье учителей. Отец был учителем математики и работал директором Шушинской городской средней школы, там же преподавала родной язык и литературу мать.

Окончив Шушинскую городскую среднюю школу, будущий ученый приехал в г. Баку и поступил в Азербайджанский политехнический институт. Обладая неустанным стремлением заниматься научно-исследовательской деятельностью, в 1965 г., после окончания строительного факультета Азербайджанского политехнического института, он приехал в Москву и поступил в аспирантуру Института водных проблем АН СССР. После успешной защиты диссертации по специальности «Гидравлика и инженерная гидрология» в 1971 г.



он стал работать в Институте водных проблем АН СССР сначала младшим, затем старшим научным сотрудником, а в дальнейшем – заведующим лабораторией управления водохозяйственными системами.

Работая в области моделирования сложных и больших водохозяйственных систем, Г.Х. Исмайылов в 1985 г. защитил диссертацию доктора технических наук по специальности «Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия», а в 1988 г.

ему было присвоено ученое звание профессора по специальности «Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия». В течение длительного времени Г.Х. Исмайылов работал в Институте водных проблем РАН (1968-1998 гг.), возглавляя лабораторию по управлению водными ресурсами речных бассейнов аридной зоны.

По приглашению с 1998 г. Г.Х. Исмайылов стал работать профессором, а с марта 1999 г. – заведующим кафедрой «Гидрология, метеорология и регулирование стока» Московского государственного университета природообустройства. С 2014 г., в связи с объединением Московского государственного университета природообустройства с Российским аграрным университетом – МСХА имени К.А. Тимирязева, он возглавил кафедру «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока».

Под научным руководством профессора Г.Х. Исмайылова защищено более 20 кандидатских и докторских диссертаций. Он действительный член Академии проблем водохозяйственных наук

и академик-секретарь ее отделения «Гидрология и водные ресурсы», почетный работник водного хозяйства России, автор более 200 научных трудов, в том числе 8 монографий и учебников.

За многолетнюю и плодотворную работу на благо науки Г.Х. Исмайлову неоднократно объявлялись благодарности университета и Российской академии наук. В 2004 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации», а в 2016 г. объявлена благодарность Министерства сельского хозяйства Российской Федерации за многолетний плодотворный труд и большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов для агропромышленного комплекса.

В настоящее время профессор кафедры «Гидравлика, гидрология и управления водными ресурсами» Института мелиорации, водного хозяйства и строительства Российского аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева Г.Х. Исмайлов продолжает плодотворно трудиться.

Уважаемый Габил Худушевич, примите самые теплые поздравления с 85-летним славным юбилеем! Ваша искренняя любовь к науке, Ваш неиссякаемый научный энтузиазм для многих из нас стали стимулом связать свою судьбу с проведением научных исследований и преподаванием учебных дисциплин. Ваше неравнодушие к нашим судьбам позволило многим из нас стать кандидатами и докторами наук. Ваши исследования в области моделирования ВХС лежат в основе тех исследований и учебных дисциплин, которые мы реализуем в высшей школе. Ваши организационные способности обеспечили развитие кафедры гидрологии и гидрологической научной школы как целостного организма. Мы бесконечно уважаем Вас за грандиозный вклад в дело науки и образования, за свободный склад ума и творчества!

Уважаемый Габил Худушевич! Поздравляем Вас с юбилейной датой и искренне желаем крепкого здоровья, кавказского долголетия, насыщенной и плодотворной жизни!

Дирекция института, сотрудники кафедры, коллеги