

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

4' 2025

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

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



ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

4' 2025

Учредитель и издатель:

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

Адрес учредителя и издателя:
127434, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

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>
<https://environment.timacad.ru/jour>

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

Адрес редакции: 127434, Москва,
Прянишникова ул., 14, строение 7-7А
Тел.: 8 (499) 976-36-67
Email: prirodamgup@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 07.10.25 г.
Формат 60 84/8, Тираж 500 экз.

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

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2025

Главный научный редактор

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

Заместитель научного редактора

Бенин Д.М., канд. техн. наук, доцент, член-кор.
Российской академии водохозяйственных наук
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Члены редакционного совета

Алексеев А.С., д-р. геогр. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет имени С.М. Кирова,
(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Балабанов В.И., д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Безбородов Ю.Г., д-р. техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Брянская Ю.В., д-р. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (г. Москва, Российская Федерация)

Волосухин В.А., д-р. техн. наук, профессор
Академия безопасности гидротехнических сооружений
(г. Новочеркасск, Российская Федерация)

Дубенок Н.Н., д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

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

Кентбаев Е.Ж., д-р. с.-х. наук, профессор, Академик КазНАЕН
НАО «Казахский национальный исследовательский университет»
(г. Алматы, Республика Казахстан)

Кирейчева Л.В., д-р. техн. наук, профессор
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)

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

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

Лихацевич А.П., д-р. техн. наук, член-кор. Академии Наук Белоруссии
Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»
(г. Минск, Республика Беларусь)

Матвеев С.М., д-р. биол. наук, профессор
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова
(г. Воронеж, Российская Федерация)

Мирзаев Б.С., д-р техн. наук, профессор
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(Ташкент, Узбекистан)

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

Ольгаренко Г.В., д-р. с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения
и сельхозводоснабжения Радуга (г. Коломна, Российская Федерация)

Попов И.И., PhD, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

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

Раткович Л.Д., д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Рубин О.Д., д-р. техн. наук, с.н.с.
АО «Институт Гидропроект» (Москва, Российская Федерация)

Ханов Н.В., д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Хлюстов В.К., д-р. с.-х. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Худаев И.Ж., канд. техн. наук, доцент
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(г. Ташкент, Узбекистан)

Шевченко В.А., д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)

ПОДПИСКА:

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

Цена подписная



ISSN 1997-6011

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

4' 2025

Founder and Publisher:

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

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

The journal is registered
by the Federal service for supervision
of communications, information technology
and mass media

Certificate of registration

PI No FS 77-58566 dated July 14, 2014

The journal is included in the list of publications
recommended by Higher Attestation Commission
of the Russian Federation for publishing papers
of those seeking PhD and DSc scientific degrees
**The issue is listed in the Russian Science
Citation Index, CrossRef,
AGRIS (Agricultural Research Information System),
Kiberleninka (Open Science)**

Full versions are posted on the site
<http://elibrary.ru>
<https://environment.timacad.ru/jour>

Editor *V.I. Markovskaya*

Computer typesetting and makeup –
A.S. Lavrova

Translation into English – *V.G. Ryabchikova*
Responsible for the issue of the journal –
N.Ya. Filatova

Address of the editorial office:
building 7-7A, Pryanishnikov str., 14,
Moscow, 127434, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 976-36-67
Email: 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 07.10.25
Format 60 84/8, Circulation 500

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

Scientific editor-in-chief

Larisa A. Zhuravleva, DSci. (Eng), Associate Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Deputy scientific editor-in-chief

Dmitry M. Benin, CSci. (Eng), Associate Professor, Corresponding Member
of the Russian Academy of Hydro Economic Sciences
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Members of the Editorial Board

Alexander S. Alekseev, DSci. (Geogr), Professor
St. Petersburg state university named after S.M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Victor I. Balabanov, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Yury G. Bezborodov, DSci. (Eng), Associate Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Yuliya V. Bryanskaya, DSci. (Eng), Associate Professor
"National Research Moscow State University of Civil Engineering" (Moscow, Russian Federation)

Victor A. Volosukhin, DSci. (Eng), Professor
Academy of safety of hydraulic structures (Novocherkassk, Russian Federation)

Nikolay N. Dubenok, DSci. (Agr), Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Gabil Kh. Ismailylov, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Erzhan Zh. Kentbaev, DSci. (Agr), Professor, Academician of KazNAEN
NAO "Kazakh National Research University" (Almaty, Republic of Kazakhstan)

Lyudmila V. Kireycheva, DSci. (Eng), Professor
Federal Research Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (Moscow, Russian Federation)

Yury M. Kosichenko, DSci. (Eng), Professor
FGBNU Russian Research Institute of Applied Mathematics (Novocherkassk, Russian Federation)

Sergey E. Lisichkin, DSci. (Eng), Senior Researcher
Branch of JSC "Institute Hydroproject – "NIIES" (Moscow, Russian Federation)

Anatoly P. Likhatchevich, DSci. (Eng),
Corresponding Member of the Academy of Sciences of Belarus
Republican scientific subsidiary unitary Enterprise "Institute of Land Reclamation"
(Minsk, Republic of Belarus)

Sergey M. Matveev, DSci. (Bio), Professor
Voronezh state forestry engineering university named after G.F. Morozov (Voronezh, Russian Federation)

Bahadir S. Mirzaev, DSci. (Eng), Professor
Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

Pavel A. Mikheev, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Gennadiy V. Olgarenko, DSci. (Agr), Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences
All-Russian research institute of irrigation and agricultural water supply systems Raduga
(Kolomna, Russian Federation)

Ivan I. Popov, PhD, Associate Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Victor V. Pchelkin, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Lev D. Ratkovich, Doctor of technical sciences, Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Oleg D. Rubin, DSci. (Eng), Professor, Senior Researcher
Institute Hydroproject – "NIIES" (Moscow, Russian Federation)

Nartmir V. Khanov, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Vitaly K. Khlyustov, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)

Ibrakhim Zh. Khudaev, CSci. (Eng), Associate Professor
National Research University "Tashkent institute of irrigation
and agricultural mechanization engineers" (Tashkent, Uzbekistan)

Victor A. Shevchenko, DSci. (Agr), Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences
Federal Research Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (Moscow, Russian Federation)

Содержание

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

А.С. Лебедев, А.Е. Хаджиди, Т.Ю. Хаширова Имитационное моделирование процесса подпочвенного полива	6
Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев, А.В. Гемонов, Е.С. Калмыкова Оценка влияния изменения климата острова Сахалин на гидромелиоративный комплекс.....	14
О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов, А.С. Гузалов Влияние пролива дизельного топлива на изменение пожарной опасности торфяных почв при производстве сельскохозяйственных работ	22
В.В. Пчёлкин, Е.А. Попова Конструкция устьевого сооружения дренажной системы и крепление поперечного сечения ручья.....	28
В.А. Волосухин, А.В. Михеев, Я.В. Волосухин, А.В. Головкин Широкозахватное двухотвальное техническое средство очистки оросительно-обводнительных каналов	34
М.С. Садаев, М.Е. Бельшкшина, М.Г. Загоруйко Регулирование водного режима и технологических приемов уборки при возделывании сои на орошении в условиях Нижнего Поволжья	43
Ф.К. Абдразаков, Э.Э. Сафин, А.А. Рукавишников Технико-экономическое обоснование применения геомембран и геотекстиля для облицовки каналов	51
П.А. Михеев, Х. Исмаил Расчет параметров аэратора поверхностных водоемов на основе использования солнечной энергии.....	60
М.Е. Бельшкшина Анализ влияния электрофизического воздействия на фотосинтетическую деятельность и параметры структуры урожая зерновых сельскохозяйственных культур	65
И.Н. Гаспарян, О.Н. Ивашова, Ш.В. Гаспарян, Н.Ф. Денискина, К.В. Чернышева, А.Г. Левшин Информационно-аналитические технологии в возделывании картофеля с двумя урожаями.....	73

Гидротехническое строительство

О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко, Я.Ю. Бурлаченко Гидродинамические исследования расширяющегося водобоя с гасителями энергии безрозной конструкции за трубчатым водобросом.....	81
Ханов Н.В., Сермавбрин Н.В., Кадысева А.А., Мартынова Н.Б. Компенсационные участки сталежелезобетонных напорных водоводов	89

Гидравлика и инженерная гидрология

Л.В. Кирейчева, Н.П. Карпенко, В.М. Яшин Анализ источников диффузного загрязнения в бассейне реки Казанка и разработка превентивных мероприятий	95
Г.В. Тлявлиева, К.Н. Макаров, Р.М. Тлявлин Моделирование емкости потока наносов для проектирования берегозащитных сооружений на участке Туапсе-Адлер СКЖД.....	103
И.В. Глазунова, Кабтул Хала, М.А. Ширяева Исследование фильтрационных свойств насыпных сорбирующих материалов с целью их применения в условиях жаркого климата для очистки воды от нефтепродуктов	111
Д.Ю. Короткоручко, М.С. Али Исследование влияния наличия и отсутствия мембраны на работу пневматических баков в системах водоподдачи с точки зрения энергоэффективности	118

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

Я.А. Крекова, С.В. Залесов, Н.К. Чеботько Комплексная оценка декоративности спирей (<i>Spiraea</i> L.) в северной части Казахстана	125
Н.П. Карташова, А.В. Мануковская, И.В. Голядкина К вопросу рекреационного обустройства лесных участков в городской среде (на примере г. Воронежа)	133
Н.Э. Оселко Состояние природных ландшафтов на территории Нагатинской поймы.....	142

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

A.S. Lebedev, A.E. Khadzhide, T.Yu. Khashirova Simulation modeling of the subsurface irrigation process.....	6
N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, A.V. Gemonov, E.S. Kalmykova Assessment of the impact of the Sakhalin island climate change on the hydro reclamation complex	14
O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, A.C. Guzalov Influence of diesel fuel spillage on changes in fire hazard of peat soils during agricultural works.....	22
V.V. Pchelkin, E.A. Popova The design of the mouth of the drainage system and the fastening of the cross-section of the stream	28
V.A. Volosukhin, A.V. Mikheev, Ya.V. Volosukhin, A.V. Golovko Wide-reach two-dump technical means of cleaning irrigation and water supply channels	34
M.S. Sadaev, M.E. Belyshkina, M.G. Zagoruiko Regulation of the water regime and technological methods of harvesting during soybean cultivation on irrigation in the conditions of the Lower Volga region.....	43
F.K. Abdrazakov, E.E. Safin, A.A. Rukavishnikov Feasibility study of the use of geomembranes and geotextiles for channel cladding	51
P.A. Mikheev, Kh. Ismaeil Calculation of the parameters of a surface water aerator based on the use of solar energy	60
M.E. Belyshkina Analysis of the effect of electrophysical effects on photosynthetic activity and parameters of the grain crop structure	65
I.N. Gasparyan, O.N. Ivashova, Sh.V. Gasparyan, N.F. Deniskina, K.V. Chernysheva, A.G. Levshin Information and analytical technologies in two-crop potato cultivation.....	73

Hydraulic engineering construction

O.N. Chernykh, A.V. Burlachenko, Ya.Yu. Burlachenko Hydrodynamic studies of an expanding apron with energy absorbers of an erosion-free structure behind a tubular spillway	81
N.V. Khanov, N.V. Sermavbrin, A.A. Kadyseva, N.B. Martynova Compensation sections of steel-reinforced concrete pressure water conduits.....	89

Hydraulics and engineering hydrology

L.V. Kireicheva, N.P., Karpenko, V.M. Yashin Analysis of sources of diffuse pollution in the Kazanka river basin and development of preventive measures.....	95
G.V. Tlyavlina, K.N. Makarov, R.M. Tlyavlin Modeling of sediment flow capacity for designing coastal protection structures on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway	103
I.V. Glazunova, Kabtoul Hala, M.A. Shiryaeva Filtration properties study of bulk sorbing materials for the use in hot climate for water purification from oil products	111
D.Yu. Korotkoruchko, M.S. Ali Study of the effect of the presence and absence of a membrane on the operation of pneumatic tanks in water supply systems in terms of energy efficiency	118

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

Y.A. Krekova, S.V. Zalesov, N.K. Chebotko Comprehensive assessment of the spirea decorativeness (<i>Spiraea</i> L.) in the northern part of Kazakhstan.....	125
N.P. Kartashova, A.V. Manukovskaya, I.V. Golyadkina On the issue of recreational development of forest areas in an urban environment (on the example of the city of Voronezh).....	133
N.E. Oselko The state of natural landscapes in the Nagatinskaya floodplain area.....	142

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-6-13>

УДК 631.62



ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДПОЧВЕННОГО ПОЛИВА

А.С. Лебедев^{1✉}, А.Е. Хаджиди¹, Т.Ю. Хаширова²¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия² Кабардино-Балкарский государственный университет; г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучить эффективность подпочвенного полива на моделях наклонных склонов с использованием имитатора горизонтальных скважин. Для оценки влияния различных параметров полива была разработана модель наклонного склона для экспериментов, исследованы различные режимы полива с использованием имитатора горизонтальных скважин. Измерение показателей эффективности угла наклона и уровня увлажненности почвы осуществлялось в лабораторных условиях, эксперименты проводились с использованием имитатора горизонтальных скважин; для анализа процессов увлажнения использовался метод математического моделирования, для обработки экспериментальных данных – статистические методы. Работа основана на анализе методов и способах полива на наклонных поверхностях почвогрунта. Для рассмотрения процесса подпочвенного полива были смоделированы наклонные склоны пескогрунта на лабораторной установке авторской конструкции, реализованные на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения Кубанского ГАУ. На опытной лабораторной установке был проведен многофакторный эксперимент по изучению технической возможности качественного полива сельскохозяйственных культур, выращиваемых на наклонных склонах, при помощи имитаторов горизонтальных скважин, эквидистантно расположенных вниз по склону. Полученные в ходе лабораторного эксперимента данные были обработаны, на основании их анализа построены графики зависимостей расстояний проникновения воды от ее объемов при углах наклона к плоскости от 10 до 30 град. На основании анализа результатов проведенных экспериментов впервые получен график, отображающий траекторию движения оросительной воды при моделировании подпочвенного полива при помощи имитатора горизонтальной скважины, продемонстрировавший движение основного потока воды, представляющего собой траекторию ниспадающей кривой, берущей свое начало непосредственно от имитатора горизонтальной скважины и заканчивающейся у нижней его границы.

Ключевые слова: подпочвенный полив, наклонный склон, имитатор горизонтальных скважин, П-образная трубка, видеоэндоскоп

Формат цитирования: Лебедев А.С., Хаджиди А.Е., Хаширова Т.Ю. Имитационное моделирование процесса подпочвенного полива // Природообустройство. 2025. № 4. С. 6-13. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-6-13>

Original article

SIMULATION MODELING OF THE SUBSURFACE IRRIGATION PROCESS

A.S. Lebedev^{1✉}, A.E. Khadzhidi¹, T.Yu. Khashirova²¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 350044, Krasnodar, Kalinin str., 13, Russia² Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Chernyshevsky str., 173, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Abstract. Objective: to study the efficiency of subsurface irrigation on inclined slope models using a horizontal well simulator. To assess the influence of various irrigation parameters, an inclined slope model was developed for experiments, and various irrigation modes were investigated using a horizontal well simulator. **Materials and methods.** Measurement of the efficiency indicators of the slope angle and the soil moisture level were carried out in laboratory conditions, experiments using a horizontal

well simulator; the method of mathematical modeling was used to analyze the moisture processes; statistical methods were used to process the experimental data. This work is based on the analysis of methods and ways of irrigation on inclined surfaces of soil ground. To consider the process of subsurface irrigation, inclined slopes of sand soil were modeled on a laboratory installation of the author's design, implemented at the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply of the Kuban State Agrarian University. A multifactorial experiment was conducted on a pilot laboratory setup to study the technical feasibility of implementing high-quality irrigation of agricultural crops grown on inclined slopes using horizontal well simulators, equidistantly located down the slope. **Results.** The data obtained during the laboratory experiment were processed, and based on their analyses, graphs were constructed showing the dependences of water penetration distances on its volumes at angles of inclination to the plane from 10 to 30 degrees. **Conclusion.** Based on the analysis of the results of the experiments, a graph was obtained for the first time, displaying the trajectory of movement of irrigation water during the modeling of subsurface irrigation using a horizontal well simulator, demonstrating the movement of the main water flow, representing the trajectory of a descending curve, originating directly from the horizontal well simulator and ending at its lower boundary.

Keywords: subsurface irrigation, inclined slope, horizontal well simulator, U-shaped tube, video endoscope

Format of citation: Lebedev A.S., Khadzhidi A.E., Khashirova T.Yu. Simulation modeling of the subsurface irrigation process // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 6-13. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-6-13>

Введение. Выращивание сельскохозяйственных структур сопряжено с рисками. В частности, урожайность в засушливые годы определяется своевременностью и достаточностью объемов воды для полива, доставляемой на поля. Если первое (своевременность полива) решается в основном организационно-логистическими методами, то с выполнением второго условия (обеспеченность необходимыми объемами поливной воды) зачастую возникают проблемы, связанные как с физическим ее дефицитом, в том числе и ввиду изменений климатических условий, так и со сложностью доставки воды на сельскохозяйственные угодья, расположенные на достаточно больших расстояниях от источников водоснабжения [1-5]. Это приобретает особо важное значение для условий выращивания сельскохозяйственной продукции на наклонных склонах, процент использования которых в сельском хозяйстве в Южном Федеральном округе достаточно велик [6, 7].

Цель исследований: изучение эффективности подпочвенного полива на моделях наклонных склонов с использованием имитатора горизонтальных скважин.

Материалы и методы исследований. Следует отметить, что организация подачи и распределения поливной воды на вершине склона представляет собой сложную техническую задачу: помимо этого, необходимо разработать комплекс мероприятий для ее удержания и равномерного распределения по всей площади склона.

В настоящее время имеется значительное количество исследований, посвященных

изучению и разработке технологий полива на наклонных поверхностях. В этом отношении следует отметить работы И.В. Шорина, Р.М. Якубова, В.В. Терлеева, Н.И. Зайковой, Н.Н. Дубенка и др. Однако проблема остается актуальной и требует дальнейшего изучения и решения [8-12].

Для решения задачи разработки технологии подпочвенного полива сельскохозяйственных структур, выращиваемых на наклонных склонах, а также с целью выявления и учета возможно большего числа влияющих на этот процесс факторов был спроектирован многофакторный лабораторный эксперимент по изучению различных вариантов применения этой технологии на лабораторной установке авторской конструкции и реализации. Многофакторный эксперимент состоит из нескольких этапов, представленных на рисунке 1.

В ходе исследовательской работы были определены основные факторы, оказывающие влияние на технологический процесс подпочвенного полива, а именно: угол наклона α_i ($i = 1, \dots, n$); коэффициенты проницаемости K_i ($i = 1, \dots, n$); глубина заложения скважины h_i ($i = 1, \dots, n$), см; объем воды V_i ($i = 1, \dots, n$), мл; расстояние проникновения жидкости l_i , см; измеренная влажность внутри исследуемого типа породы ϕ_i ($i = 1, \dots, n$), %; замер времени для определения показателя влажности внутри почвогрунта t_i ($i = 1, \dots, n$), мин; значения функционала, получаемые в результате проведения эксперимента (табл. 1), для $n = 3$.

Лабораторный эксперимент был подготовлен и проведен в трехкратной повторности на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного

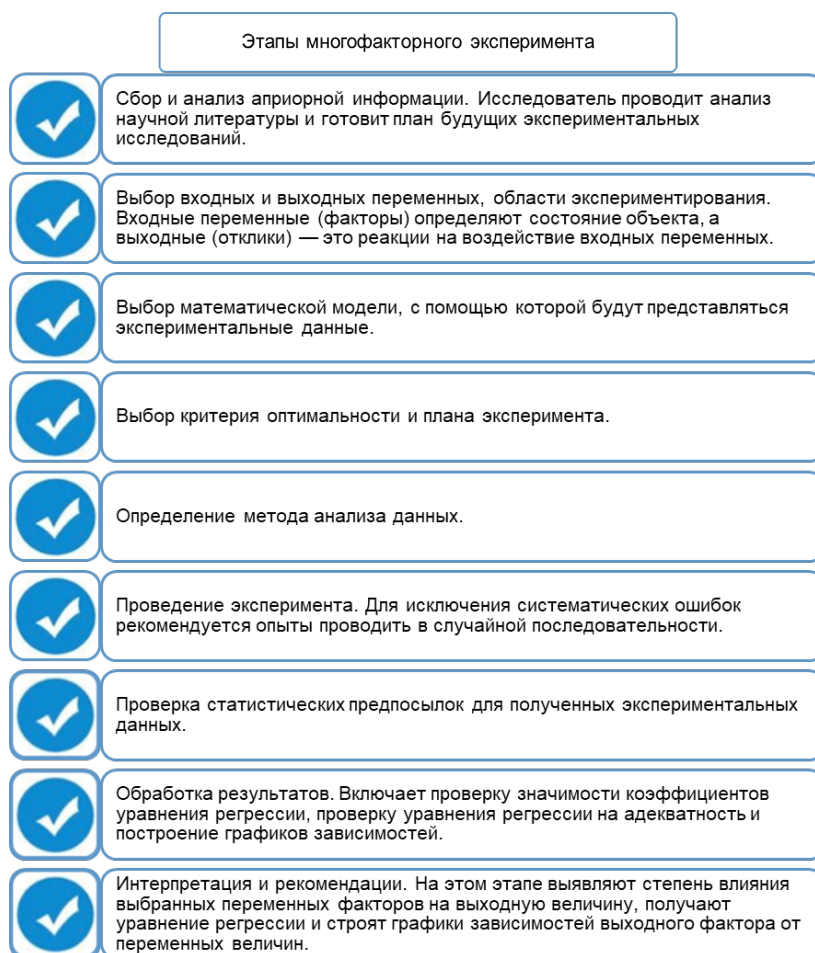


Рис. 1. Этапы многофакторного эксперимента

Fig. 1. Stages of a multifactorial experiment

водоснабжения Кубанского ГАУ на экспериментальной установке в масштабе 1 : 100. В процессе подготовки эксперимента в лабораторных условиях были выполнены работы по изготовлению действующей модели склона, позволяющей изменять значения углов его наклона к горизонту. Кроме того, на самом склоне были расположены на разных глубинах имитаторы горизонтальных скважин, что дало возможность моделировать различные варианты подпочвенного полива согласно приведенной в таблице 1 методике.

Экспериментальная установка длиной 3000 см была разделена на 3 части для возможности установки различных углов наклона (рис. 2).

Каждая часть модели была отделена от другой водонепроницаемыми пластинами из ПВХ-материала. Смоделированный угол наклона к плоскости был выполнен из ПВХ-пластин, имеющих подпоры по всей длине расположения внутри каждой модели. Сверху наклонной пластины был засыпан пескогрунт высотой 10 см. Далее внутри пескогрунта была

Таблица 1. План проведения многофакторного лабораторного эксперимента

Table 1. Plan for conducting a multifactorial laboratory experiment

Угол наклона <i>Angle of inclination</i>	Тип породы <i>Type of species</i>		K ₁ (пескогрунт) <i>K₁(sand soil)</i>		
			<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i> ₃
α_1			<i>V</i> ₁	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₃
			<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃
			<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>t</i> ₃
			ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
			<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i> ₃
α_2			<i>V</i> ₁	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₃
			<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃
			<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>t</i> ₃
			ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
			<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i> ₃
α_3			<i>V</i> ₁	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₃
			<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃
			<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>t</i> ₃
			ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
			<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i> ₃

заложена П-образная трубка на глубину 2 см, состоящая из двух вертикальных и одной горизонтальной перфорированной трубки, причем на горизонтальной трубке размещена перфорация на стороне в 45 град. Расстояние заложения П-образной трубки устанавливалось в соответствии с техническими требованиями и недопущением гидроразрыва и вытекания бурового раствора на поверхность пескогрунта. Для определения движения жидкости внутри пескогрунта на расстоянии 5 см от П-образной трубки была заложена внутрь наблюдательная скважина на всю глубину пескогрунта. Для удобства мониторинга движения жидкости внутри пескогрунта на наблюдательной скважине был сделан ряд рисок, длина между которыми составляет 1 см.

После размещения вышеуказанного оборудования в лабораторной установке приступили к опыту, который осуществляли с имеющегося мерного бака, заполненного водой до 1000 мл. После открытия поворотного крана вода из мерного бака начала поступать в одну вертикальную трубку системы П-образной трубки.

Измерение влажности пескогрунта осуществлялось при помощи тарированного зондового датчика, погрешность которого не превышала $3 \div 5\%$. Движение жидкости в слое пескогрунта исследовалось при помощи видеоэндоскопа, установленного в наблюдательной скважине. Измерение времени проведения каждого эксперимента осуществлялось при помощи секундомера. Время секундомера было синхронизировано с сервером точного времени NTP-сервер MSK-IX.

Результаты и их обсуждение. По описанной выше методике и в соответствии с алгоритмом эксперимента были проведены эксперименты в лабораторных условиях с заложением П-образной трубки на глубину 2 см, 4 см и 6 см, результаты которых представлены в таблице 2.

Алгоритм проведения многофакторного эксперимента [13].

Шаг 1. Выбор факторов и функции. На основании экспериментальных исследований выбор факторов, от которых зависит результирующая величина Y .

Шаг 2. Создание обобщенной формулы зависимости:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (1)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – факторы, оказывающие влияние на величину Y .

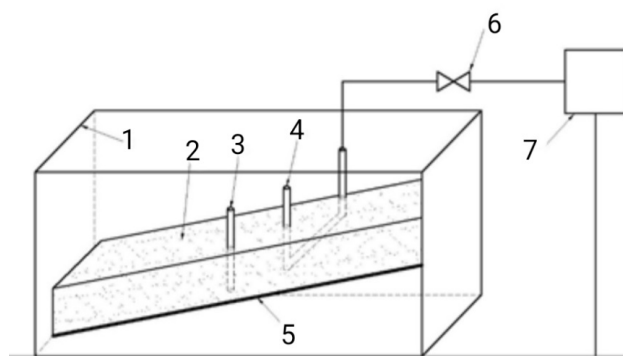


Рис. 2. Экспериментальная лабораторная установка:

- 1 – водонепроницаемая ПВХ-пластина;
- 2 – пескогрунт; 3 – наблюдательная скважина;
- 4 – П-образная трубка;
- 5 – ПВХ-пластина для создания уклона;
- 6 – кран; 7 – мерная емкость

Fig. 2. Experimental laboratory setup

- 1 – waterproof PVC plate; 2 – sand and soil;
- 3 – observation well; 4 – U-shaped tube;
- 5 – PVC plate for creating a slope; 6 – tap;
- 7 – measuring container

Шаг 3. Проверка всех факторов на значимость по методике отсеивающего эксперимента, чтобы их осталось не более 3.

Шаг 4. Определение границ изменения факторов. Значению, соответствующему нижней границе, присваивается -1 , верхней границе $+1$, среднему значению 0 . Затем нужно определить соответствующие этим факторам значения.

Шаг 5. Формирование таблицы проведения многофакторного эксперимента.

Шаг 6. Вычисление коэффициентов регрессии по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cdot x_i)}{n}, \quad (2)$$

где n – число опытов ($n = 15$ в трехфакторном эксперименте b_i , в четырехфакторном $n = 25$); y_i – значение функции; x_i – значение фактора.

Шаг 7. Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента. Построение таблицы результатов проверки коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

Шаг 8. Исключение из уравнения регрессии членов с незначимыми коэффициентами.

Шаг 9. Построение уравнения регрессии в кодированном виде. В общем виде для трехфакторного эксперимента уравнение имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

Таблица 2. Результаты экспериментов

Table 2. Experimental results

Угол наклона, град <i>Angle of inclination, degrees</i>	Объем жидкости, мл <i>Volume of liquid, ml</i>	Расстояние нахождения наблюдательной скважины от П-образной трубки, см <i>Distance of the observation well from the U-shaped tube, cm</i>	Глубина заложения П-образной трубки 2 см <i>The depth of the U-shaped tube is 2 cm</i>		
			Влажность, % <i>Humidity, %</i>	Расстояние прохождения жидкости, см <i>Liquid passage distance, cm</i>	Глубина проникновения воды в наблюдательную скважину, см <i>Depth of water penetration into the observation well, cm</i>
10	200	5 см	5,3	4,5	5,5
	400		5,7	5	
	600		7,5	6	
20	200		4,4	5,3	4,5
	400		6,2	6,7	
	600		8,8	9	
30	200		4,8	5	5
	400		7	6,2	
	600		9	7,3	
Угол наклона, град <i>Angle of inclination, degrees</i>	Объем жидкости, мл <i>Volume of liquid, ml</i>	Расстояние нахождения наблюдательной скважины от П-образной трубки, см <i>Distance of the observation well from the U-shaped tube, cm</i>	Глубина заложения П-образной трубки 4 см <i>The depth of the U-shaped tube is 4 cm</i>		
			Влажность, % <i>Humidity, %</i>	Расстояние прохождения жидкости, см <i>Liquid passage distance, cm</i>	Глубина проникновения воды в наблюдательную скважину, см <i>Depth of water penetration into the observation well, cm</i>
10	200	5 см	7	3,7	6, 5
	400		13,2	6	
	600		14,1	7,5	
20	200		7,5	4,5	7,5
	400		12,9	6,4	
	600		14,1	7,5	
30	200		5,3	4,3	6,5
	400		9	5	
	600		11,5	6,6	
Угол наклона, град <i>Angle of inclination, degrees</i>	Объем жидкости, мл <i>Volume of liquid, ml</i>	Расстояние нахождения наблюдательной скважины от П-образной трубки, см <i>Distance of the observation well from the U-shaped tube, cm</i>	Глубина заложения П-образной трубки 6 см <i>The depth of the U-shaped tube is 6 cm</i>		
			Влажность, % <i>Humidity, %</i>	Расстояние прохождения жидкости, см <i>Liquid passage distance, cm</i>	Глубина проникновения воды в наблюдательную скважину, см <i>Depth of water penetration into the observation well, cm</i>
10	200	5 см	9,5	4,5	7
	400		13,7	6,5	
	600		15,3	6,5	
20	200		9,4	4	8
	400		10,4	4,5	
	600		13,7	6,3	
30	200		7,1	4,6	7, 5
	600		12,8	7,5	

Шаг 10. Проверка адекватности модели. Вычисление дисперсии адекватности $S_{ад}^2$ и значение критерия Фишера (F-критерия):

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{f}; \quad (3)$$

$$f = N - p, \quad F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad (4)$$

где $\hat{y}_i$ – значение отклика, рассчитанное по построенному уравнению регрессии; f – число степеней свободы, связанное с дисперсией адекватности; p – число оцениваемых коэффициентов регрессии.

В соответствии с найденными числами степеней свободы f и $N (n-1)$ и вычисленным значением F-критерия проводится сравнение с табличным значением: если значение F-критерия не превышает табличного значения, то гипотеза об адекватности модели подтверждается.

Шаг 11. Преобразование уравнения регрессии. Для раскодирования следует использовать соотношение:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{J_j}, \quad (5)$$

где $\tilde{x}_i$ – исходное значение фактора; $\tilde{x}_{i0}$ – исходное значение уровня варьирования фактора; J_j – интервал варьирования факторов.

Шаг 12. Построение поверхностей отклика.

Шаг 13. Построение сечений поверхностей отклика.

На основании данных, приведенных в таблице 2, и в соответствии с алгоритмом проведения многофакторного эксперимента было построено уравнение зависимости расстояния проникновения воды от ее объемов при углах наклона к плоскости 10-30 град.:

$$Y = 4,57 - 0,0838x_1 + 0,0007x_2 + 0,0164x_1x_2 - 0,0009x_1x_2 + 2,2431E - 5x_2x_2. \quad (6)$$

По окончании экспериментов была выполнена оценка полученных метрик.

– Среднеквадратическая ошибка MSE:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (7)$$

где y_i – истинное значение; $\hat{y}_i$ – предсказанное значение; n – количество точек данных.

Чем ближе MSE к нулю, тем лучше модель.

– Средняя абсолютная ошибка MAE:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|. \quad (8)$$

Чем меньше MAE , тем точнее модель.

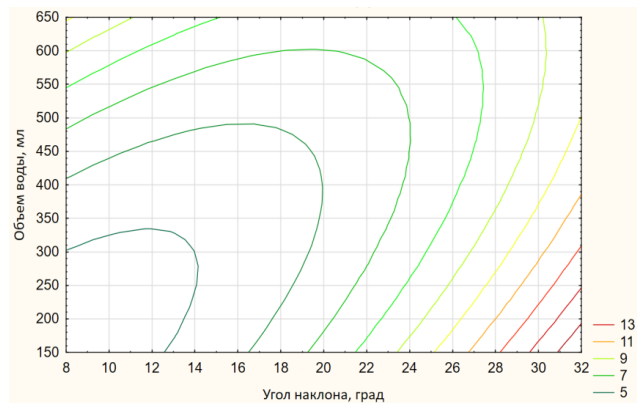
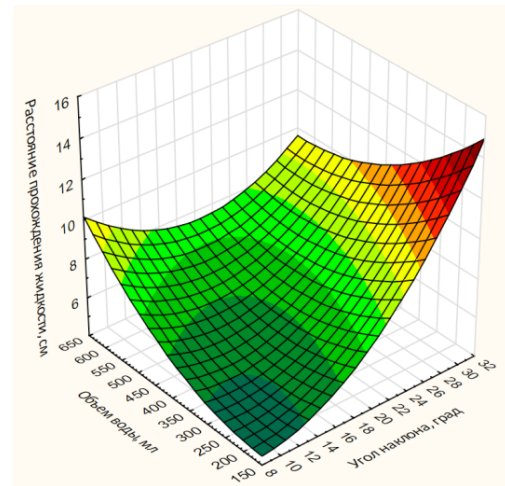


Рис. 3. Поверхности отклика и сечения поверхностей отклика, построенные для уравнения (1)

Fig. 3. Response surfaces and response surfaces sections built for equation (1)

Таблица 3. Значения метрик

Table 3. Metric values

№	Метрика / Metrics	Оценка / Evaluation
1	Среднеквадратическая ошибка MSE Mean square error MSE	0,1284
2	Средняя абсолютная ошибка MAE Mean absolute error MAE	0,3062
3	Коэффициент детерминации R ² Coefficient of determination R ²	0,9265

– Коэффициент детерминации R²:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (9)$$

где $\bar{y}$ – среднее значений истинных значений.

Значение R² характеризуется следующими условиями:

Выводы

1. На основании анализа результатов проведенных экспериментов впервые получен график, отображающий траекторию движения поливочной воды при моделировании подпочвенного полива при помощи имитатора горизонтальной скважины.

2. Полученные результаты показали, что основной поток поливочной воды в процессе своего движения имеет траекторию ниспадающей кривой, берущей свое начало непосредственно от имитатора горизонтальной скважины, далее проходящей под некоторым углом весь рассматриваемый участок

наклонного склона и заканчивающейся у нижней его границы.

3. В результате исследований установлено, что увеличение угла наклона, объема жидкости и глубины заложения П-образной трубки приводит к удлинению расстояния проникновения жидкости вдоль склона. Наибольшее расстояние проникновения воды вдоль склона для грунтов с легким механическим составом по результатам исследования происходит при сочетании максимальных значений факторов (угол наклона – 30°, объем жидкости – 600 мл, глубина трубки – 6 см), а наименьшее значение – при угле наклона 10°, объеме жидкости 200 мл, глубине трубки 2 см.

Список использованных источников

1. Храбров М.Ю. Совершенствование системы капельно-инъекционного орошения для полива овощных культур / М.Ю. Храбров, А.В. Майер // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1(73). С. 283-289. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-32.
2. Дубенок Н.Н. Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии / Н.Н. Дубенок, Д.А. Болотин, А.А. Новиков, А.Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 83-90.
3. Штанько А.С. Геометрия корневых систем яблоневых растений, произрастающих на орошаемых склоновых землях / А.С. Штанько, Я.Е. Удовидченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 87-104.
4. Хаджиди А.Е. К вопросу повышения водообеспеченности Верхне-кубанской оросительной системы Краснодарского края / А.Е. Хаджиди, А.Е. Новиков, И. Буханиф // Природообустройство. 2024. № 1. С. 6-11. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-6-11. EDN: BWOEJU
5. Садридинов С. Развитие орошаемого земледелия на основе применения капельного орошения как новая инновационная технология / С. Садридинов, Я.Э. Пулатов // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. 2017. № 2/2. С. 86-90.
6. Шорина И.В., Макарычев С.В. Водный режим чернозема на верхней части склона в условиях алтайского приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 11 (217). С. 67-71. EDN: OKECDQ
7. Якубов Р.М. Данные по изучению антропогенных воздействий на Самур-Апшеронский канал и Джейранбатанское водохранилище // Бюллетень науки и практики. 2020. № 7. С. 93-101.
8. Терлеев В.В. и др. Гистерезис водоудерживающей способности почвы: сравнение моделей на примере пылеватого суглинка // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3. С. 152-167. EDN: WHOXVS
9. Зайкова Н.И., Макарычев С.В. влагосодержания в профиле чернозема при возделывании столовой свёклы в условиях правобережья реки Оби // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (197). С. 47-53.

References

1. Khrabrov M.Yu. Improvement of the drip-injection irrigation system for watering vegetable crops / M.Yu. Khrabrov A.V. Mayer // Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and higher professional education. 2024. No. 1(73). P. 283-289. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-32.
2. Dubenok N.N. Efficiency of water resources use in irrigated land / N.N. Dubenok, D.A. Bolotin, A.A. Novikov, A.G. Bolotin // Izvestiya Nizh-nevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education. 2018. No. 3(51). P. 83-90.
3. Shtanko A.S. Geometry of root systems of apple plants growing on irrigated sloping lands / A.S. Shtanko Ya.E. Udovidchenko // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. No. 1(37). P. 87-104.
4. Khadjidi A.E. On the issue of increasing the water availability of the Verkhne-Kuban irrigation system of the Krasnodar Territory / A.E. Khadjidi, A.E. Novikov, I. Bukhanif // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 1. P. 6-11. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-6-11. EDN: BWOEJU
5. Sadridinov S. Development of irrigated agriculture based on the use of drip irrigation as a new innovative technology / S. Sadridinov Ya.E. Pulatov // Bulletin of the Tajik National Uni6. Shorina I.V., Makarychev S.V. The water regime of chernozem on the upper part of the slope in the conditions of the Altai region // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022.No. 11 (217). P. 67-71.
6. Shorina I.V., Makarychev S.V. The water regime of chernozem on the upper part of the slope in the conditions of the Altai region // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022.No. 11 (217). P. 67-71. EDN: OKECDQ
7. Yakubov R.M. Data on the study of anthropogenic impacts on the Samur-Absheron Canal and the Jeyranbatan reservoir // Bulletin of Science and Practice. 2020. No. 7. P. 93-101.
8. Terleev V.V. et al. Hysteresis of soil water retention capacity: comparison of models using the example of powdery loam // Tauride Bulletin of Agrarian Science. – 2020. No. 3. P. 152-167. EDN: WHOXVS
9. Zaikova N.I., Makarychev S.V. moisture content in the profile of chernozem during table beet cultivation on the right bank of the Ob River // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No. 3 (197). P. 47-53.

10. Дубенок Н.Н. и др. Суммарное водопотребление зерновых культур на склоновых землях Центрального района РФ и зональные биоклиматические коэффициенты // Овощи России. 2020. № 6. С. 120-125. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>

11. Ламердонов З.Г. Экспериментальные исследования комбинированных анкеров и варианты их практического применения / З.Г. Ламердонов, И.А. Жирикova, Т.Ю. Хаширова // Природообустройство. 2024. № 2. С. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-63-68. environment.timacad.ru

Об авторах

Александр Сергеевич Лебедев, аспирант кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения; Author ID: 1236940, ORCID: 0009-0009-8801-5066; lebedev_alex96@mail.ru

Анна Евгеньевна Хаджиди, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения; Author ID: 509767, ORCID: 0000-0002-1375-9548; dtn-khanna@yandex.ru

Татьяна Юрьевна Хаширова, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой компьютерных технологий и информационной безопасности института электроники, робототехники и искусственного интеллекта; Author ID: 466062, ORCID: 0000-0002-4584-4376; khashirova@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Лебедев А.С., Хаджиди А.Е., Хаширова Т.Ю. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.04.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 22.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 22.08.2025

10. Dubenok N.N. et al. Total water consumption of grain crops in the sloping lands of the Central region of the Russian Federation and zonal bioclimatic coefficients // Vegetables of Russia. 2020. No. 6. P. 120-125. . <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>

11. Lamerdonov Z.G. Experimental studies of combined anchors and their practical application options / Z.G. Lamerdonov, I.A. Zhirikova, T.Y. Khashirova // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 2. P. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-63-68. environment.timacad.ru

About the authors

Alexander S. Lebedev, postgraduate student of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Author ID: 1236940, ORCID ID: 0009-0009-8801-5066; lebedev_alex96@mail.ru

Anna E. Khadzhide, DSs (Tech), Associate Professor, Head of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply; Author ID: 509767, ORCID: 0000-0002-1375-9548; dtn-khanna@yandex.ru

Tatjana Yu. Khashirova, DSs (Tech), Associate Professor, Head of the Department of computer technologies and information security of the Institute of Electronics, Robotics and Artificial Intelligence, Author ID: 466062, ORCID: 0000-0002-4584-4376; khashirova@mail.ru

Lebedev A.S., Khadzhide A.E., Khashirova T.Yu. carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Lebedev A.S., Khadzhide A.E., Khashirova T.Yu. have copyright on the article and are responsible for plagiarism

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-14-21>

УДК 631.6:551.582(571.642)



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ОСТРОВА САХАЛИН НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ КОМПЛЕКС

Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев[✉], А.В. Гемонов, Е.С. Калмыкова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, Россия

Аннотация. В условиях изменения климата требуется уточнение параметров мелиоративных систем, которые зависят, в том числе, от метеорологических условий территории. Цель исследований – оценка влияния изменения агроклиматических показателей острова Сахалин на гидромелиоративный комплекс в условиях глобального потепления. Объектом исследований является остров Сахалин, расположенный в условиях умеренно-муссонного климата. В исследованиях использованы данные метеорологических наблюдений по двум метеостанциям: Южно-Сахалинск в южной части острова и Александровск-Сахалинский на западном побережье. Для оценки долговременных тенденций в изменении климата Сахалинской области использовался ряд показателей: среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков, сумма эффективных температур (больше 10°C), максимальное суточное количество осадков в течение вегетационного периода. Для оценки влияния климатических изменений на тепло- и влагообеспеченность территории рассчитывался гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова. За прошедшие 50 лет (с 1971 по 2020 гг.) произошло значительное повышение среднегодовой температуры воздуха в Южно-Сахалинске в среднем с 2,2 до 3,7°C (+1,5°C), а в Александровске-Сахалинском – с 0,5 до 1,6°C (+1,1°C). Изменение в количестве поступающего тепла компенсируется некоторым увеличением выпадающих осадков, распределение которых по сезонам года с максимальными суточными значениями необходимо учитывать при определении водного баланса агроландшафтов. Явные закономерности в долговременных изменениях гидротермического коэффициента для южных (зона избыточного увлажнения) и западных районов (зона достаточного увлажнения) не прослеживаются. В Сахалинской области в условиях изменяющегося климата требуется внедрение организационно-технических мероприятий по адаптации мелиоративного комплекса к новым условиям, реализация которых должна способствовать повышению устойчивости агроландшафтов и эффективности ведения сельского хозяйства на мелиорируемых землях.

Ключевые слова: изменение климата, агрометеорологические данные, гидромелиорация, остров Сахалин

Формат цитирования: Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В., Калмыкова Е.С. Оценка влияния изменения климата острова Сахалин на гидромелиоративный комплекс // Природообустройство. 2025. № 4. С. 14-21. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-14-21>

Scientific article

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE SAKHALIN ISLAND CLIMATE CHANGE ON THE HYDRO RECLAMATION COMPLEX

N.N. Dubenok, A.V. Lebedev[✉], A.V. Gemonov, E.S. Kalmykova

Russian State Agrarian University- Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya, 44, Russia

Abstract. In the context of climate change, it is necessary to clarify the parameters of melioration systems, which depend, among other things, on the meteorological conditions of the territory. The aim of the study is to assess the impact of changes in agroclimatic indicators of Sakhalin Island in the context of global warming on the hydromelioration complex. The object of the study is Sakhalin Island, located in a moderate monsoon climate. The study used meteorological observation data from two meteorological stations: Yuzhno-Sakhalinsk in the southern part of the island and Aleksandrovsk-Sakhalinsky on the west coast. To assess long-term trends in climate change in the Sakhalin Region, a number of indicators were used: average annual air temperature, annual precipitation, the sum of effective temperatures (more than 10°C), and the maximum daily precipitation during the growing season. To assess the impact of climate change on the heat and moisture supply of the territory, the Selyaninov hydrothermal coefficient was calculated. Over the past

50 years (from 1971 to 2020), there has been a significant increase in the average annual air temperature in Yuzhno-Sakhalinsk from an average of 2.2 to 3.7°C (+ 1.5°C), and in Aleksandrovsk-Sakhalinsky – from 0.5 to 1.6°C (+ 1.1°C). The change in the amount of incoming heat is compensated by a slight increase in precipitation, the distribution of which by seasons of the year with maximum daily values must be taken into account when determining the water balance of agricultural landscapes. There is no obvious pattern in the long-term changes in the hydrothermal coefficient for the southern (zone of excess moisture) and western regions (zone of sufficient moisture). In the Sakhalin Region, in the context of a changing climate, it is necessary to introduce a set of organizational and technical measures to adapt the reclamation complex to new conditions, the implementation of which should contribute to increasing the sustainability of agricultural landscapes and the efficiency of agriculture on reclaimed lands.

Keywords: climate change, agrometeorological data, hydromelioration, Sakhalin Island

Format of citation: Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gemonov A.V., Kalmykova E.S. Assessment of the impact of the Sakhalin Island climate change on the hydro-reclamation complex // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 14-21. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-14-21>

Введение. Изменение климата проявляется во всех природно-климатических зонах России, и требуется адаптация многих отраслей экономики страны к новым условиям [1-4]. Агропромышленный комплекс, в частности, растениеводство и садоводство, относится к наиболее подверженным влиянию изменения тепло- и влагообеспеченности, воздействию экстремальных погодных явлений. В результате трансформации климата происходит смещение границ агроклиматических зон, что для регионов может как иметь положительный эффект, так и приводить к неблагоприятным социально-экономическим последствиям [5-7]. В условиях прогнозируемых изменений климата возрастает роль гидротехнических мелиораций, которые выступают эффективным инструментом по адаптации сельского хозяйства как к гумидному (осушение), так и к аридному (орошение) сценариям [8-10].

К одной из ведущих отраслей экономики Сахалинской области относится сельское хозяйство, для которого свойственным является ряд особенностей [11, 12]: отдаленность от районов производства удобрений и сельскохозяйственного машиностроения; отсутствие сырьевой базы производства комбикормов и сбытовой инфраструктуры; низкая конкурентоспособность; высокие издержки производства, которые связаны с неблагоприятными климатическими условиями, высокой кислотностью и переувлажнением большинства площадей. Решающую роль в сельском хозяйстве региона играет мелиоративный комплекс, который включает в себя более 50 тыс. га мелиорируемых земель, более 16 тыс. км закрытого дренажа, более 3,5 тыс. км каналов. В Сахалинской области площадь пашни превышает 35 тыс. га, из которой более 95% – это мелиорируемые земли.

Мелиоративные системы на острове были построены в 1980- гг., а их средний срок службы

составлял около 30 лет. В рамках реализации Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы» началось восстановление мелиоративного комплекса Сахалинской области. К приоритетным направлениям в регионе относятся усовершенствование приемов осушения и освоения переувлажненных и заторфованных земель, технологии реконструкции открытых осушительных систем [13].

Климатические условия формируют гидрологический, воздушный и тепловой режимы, поддержание которых в оптимальных для возделываемых культур диапазонах относится к главной задаче мелиоративных систем. Наблюдающееся в последние десятилетия изменение количества поступающего тепла и осадков требует уточнения параметров мелиоративных систем, что является весьма актуальным для Сахалинской области, где сельскохозяйственное производство возможно только на мелиорируемых землях.

Цель исследований: оценка влияния изменения агроклиматических показателей острова Сахалин на гидромелиоративный комплекс в условиях глобального потепления.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований является остров Сахалин, расположенный в условиях умеренно-муссонного климата [14]. В исследованиях использованы данные метеорологических наблюдений по двум метеостанциям: Южно-Сахалинск (период наблюдений – с 1942 по 2023 гг.) в южной части острова (46°57' с.ш., 142°44' в.д.) и Александровск-Сахалинский (период наблюдений – с 1881 по 2023 гг.) на западном побережье (50°54' с.ш., 142°09' в.д.).

Для оценки долговременных тенденций в изменении климата Сахалинской области использовался ряд показателей: среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков,

сумма эффективных температур (больше 10°C), максимальное суточное количество осадков в течение вегетационного периода. Для оценки влияния климатических изменений на тепло- и влагообеспеченность территории рассчитывался гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова со стандартной градацией шкалы условий от засушливых до избыточно увлажненных [15-16].

Анализ агрометеорологических данных выполнялся в табличном процессоре Microsoft Office Excel 2016 с использованием методов описательной статистики и регрессионного анализа (значимость уравнения оценена с применением F-теста). Статистические выводы сделаны при p -значении = 0,05.

Результаты и их обсуждение. Значительное повышение среднегодовой температуры воздуха на метеостанциях Южно-Сахалинск и Александровск-Сахалинский начало происходить в 1970-1980-е гг. (рис. 1). Согласно уравнениям тренда ($R^2 > 0,3$; $p < 0,05$) с 1971 по 2020 гг. среднегодовая температура в Южно-Сахалинске повысилась с $2,2$ до $3,7^{\circ}\text{C}$ ($+1,5^{\circ}\text{C}$), а в Александровске-Сахалинском – с $0,5$ до $1,6^{\circ}\text{C}$ ($+1,1^{\circ}\text{C}$). Стоит отметить, что до 1970 г. в среднем с периодичностью раз в 20 лет среднегодовая температура достигала минимальных значений для Южно-Сахалинска менее 1°C , для Александровска-Сахалинского – менее -1°C . Во все последующие годы также наблюдается рост этих минимальных температур. В 2016 г., самом «холодном» за десятилетие, с 2011 по 2020 гг., среднегодовая температура в Южно-Сахалинске достигла $2,6^{\circ}\text{C}$, а в Александровске-Сахалинском – $0,7^{\circ}\text{C}$.

Южная и западная части острова Сахалин имеют разную обеспеченность осадками (рис. 2).

В Южно-Сахалинске максимальные суммы годовых осадков достигают 1229 мм (2010 г.), а в Александровске-Сахалинском – 945 мм (2022 г.). Для обеих метеостанций долговременный тренд ($R^2 > 0,18$; $p < 0,05$) имеет тенденцию увеличения осадков с 1990-2000-х гг. Для Южно-Сахалинска к настоящему времени рост годовой суммы осадков составил около 150 мм, а для Александровска-Сахалинского – около 100 мм. Возрастание количества осадков, с одной стороны, способствует увеличению вертикального и горизонтального стоков и расходу воды в осушительных системах, а с другой – может быть компенсировано повышением температуры воздуха и, как следствие, испаряемостью.

При проектировании и реконструкции осушительных систем важно знать, на какой максимальный расход воды они должны быть рассчитаны. Долговременный тренд изменения максимальной суточной суммы осадков за вегетационный период представлен на рисунке 3. В целом за рассматриваемые временные промежутки в Южно-Сахалинске наблюдается повышение этого показателя в среднем на 20 мм ($R^2 = 0,05$; $p < 0,05$). Для Александровска-Сахалинского долговременный тренд является статистически недостоверным ($R^2 = 0,01$; $p > 0,05$). Максимальных значений рассматриваемый показатель достигал: в Южно-Сахалинске в 2001 г., когда за сутки выпал 131 мм осадков; в Александровске-Сахалинском в 1993 г., где за сутки выпало 82 мм осадков. Таким образом, эти значения необходимо учитывать при расчете водопропускной способности осушительных систем в южных и западных районах острова Сахалин.

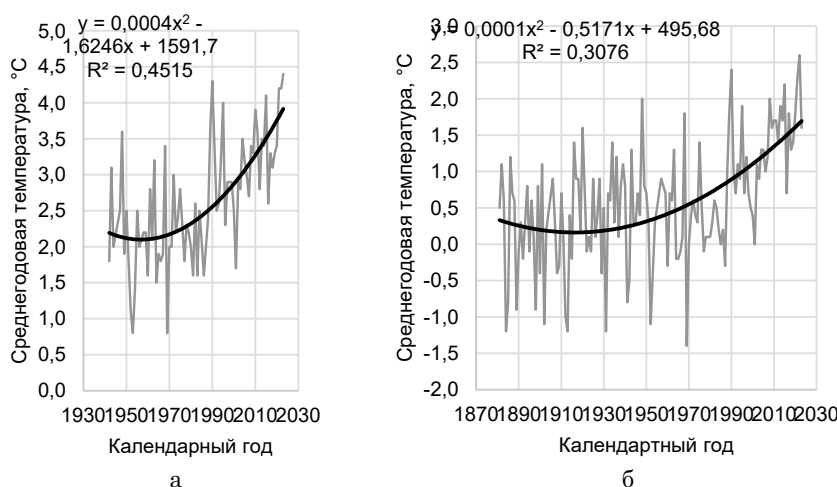


Рис. 1. Долговременный тренд изменения среднегодовой температуры: а) в Южно-Сахалинске; б) в Александровске-Сахалинском

Fig. 1. Long-term trend of average annual temperature change: а) in Yuzhno-Sakhalinsk, б) in Alexandrovsk-Sakhalinsk

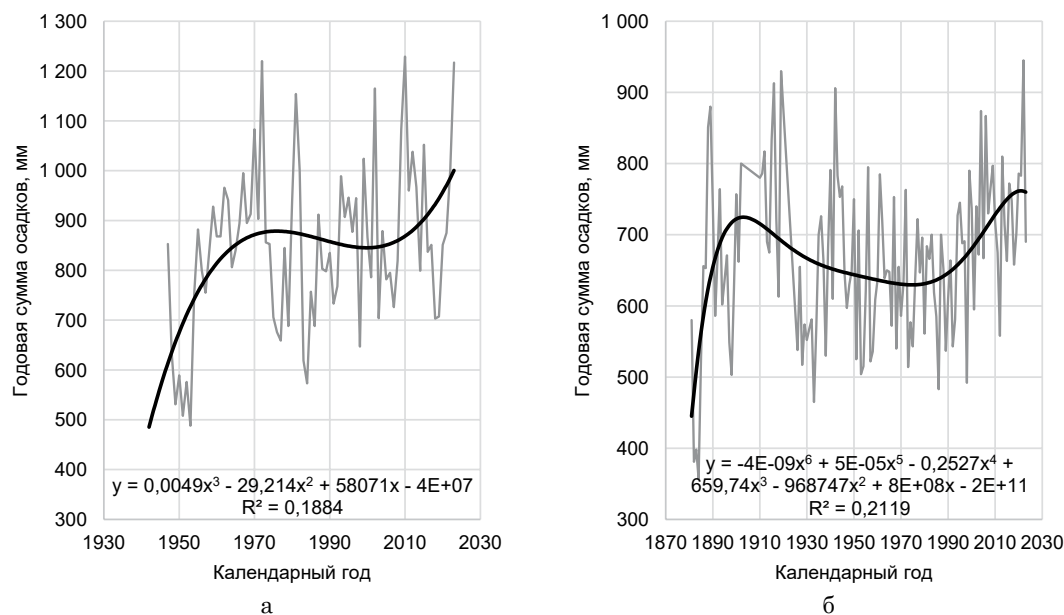


Рис. 2. Долговременный тренд изменения годовой суммы осадков:
а) в Южно-Сахалинске; б) в Александровске-Сахалинском

Fig. 1. Long-term trend of average annual temperature change:
а) in Yuzhno-Sakhalinsk, б) in Alexandrovsk-Sakhalinsk

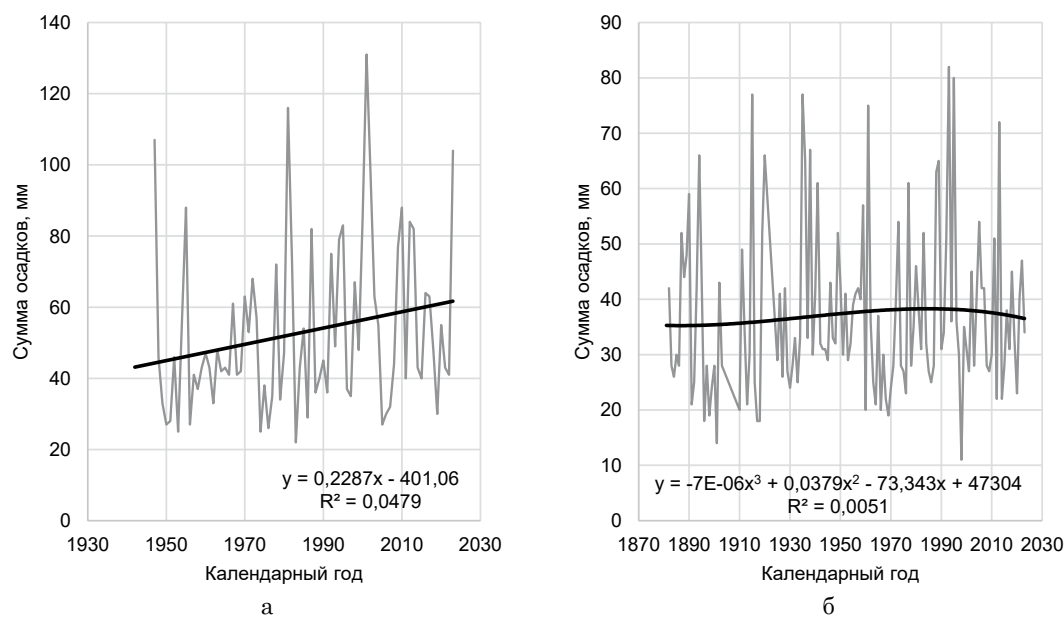


Рис. 3. Долговременный тренд изменения
максимальной суточной суммы осадков за вегетационный период:
а) в Южно-Сахалинске; б) в Александровске-Сахалинском

Fig. 3. Long-term trend of changes in the maximum daily precipitation during the growing season:
а) in Yuzhno-Sakhalinsk, б) in Alexandrovsk-Sakhalinsk

Гидротермический коэффициент (ГТК) является показателем, характеризующим тепло- и влагообеспеченность территории. В среднем южные районы Сахалина относятся к зоне избыточного увлажнения ($ГТК > 2,0$), а западные — к зоне достаточного увлажнения ($1,0 < ГТК < 2,0$). При этом в Южно-Сахалинске в отдельные годы ГТК достигает крайне низких значений, приближаясь к 1,0 (например,

2005, 1988, 1983 гг.), а в Александровске-Сахалинском он достигает экстремально высоких значений, характерных для зоны избыточного увлажнения (например, 2004, 2000, 1995, 1981 гг.). В целом, как показывают данные (рис. 4), явные закономерности в долговременных изменениях гидротермического коэффициента для обеих рассматриваемых метеостанций не прослеживаются ($R^2 < 0,01$; $p > 0,05$).

Сводные данные о динамике основных агрометеорологических показателей для двух метеостанций за последние 5 десятилетий (с 1971 по 2020 гг.) представлены в таблице. Повышение средних значений по десятилетиям, выходящих за границы стандартных ошибок, прослеживается для среднегодовой температуры воздуха и суммы эффективных температур,

годового количества осадков, а для максимального суточного количества выпавших осадков за вегетационный период и гидротермического коэффициента рассчитанные средние значения находятся в пределах стандартных ошибок.

Таким образом, значительным изменениям в климатической системе острова Сахалин подвержены температурные факторы.

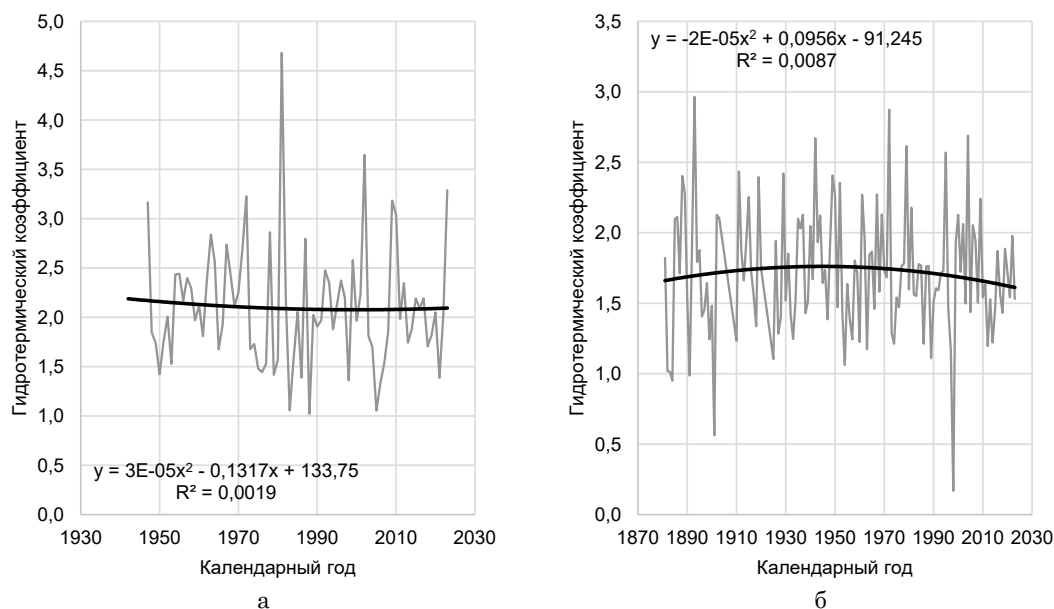


Рис. 4. Долговременный тренд изменения гидротермического коэффициента:

а) в Южно-Сахалинске; б) в Александровске-Сахалинском

Fig. 4. Long-term trend of changes in the hydrothermal coefficient:

a) in Yuzhno-Sakhalinsk, b) in Alexandrovsk-Sakhalinsk

Таблица. Динамика основных агроклиматических параметров для метеостанций Сахалина по десятилетиям с 1971 по 2020 годы

Table. Dynamics of the main agro-climatic parameters for Sakhalin weather stations over the decades from 1971 to 2020

Десятилетие Decade	Среднегодовая температура, °C Average annual temperature, °C	Годовое количество осадков, мм Annual precipitation, mm	Сумма эффективных температур, °C Sum of effective temperatures, °C	Максимальное суточное количество осадков за вегетационный период, мм Maximum daily precipitation during the growing season, mm	Гидротермический коэффициент Hydrothermal coefficient
Южно-Сахалинск / Yuzhno-Sakhalinsk					
1971-1980	2,3 ± 0,1	835 ± 54	1708 ± 31	46 ± 5	2,0 ± 0,2
1981-1990	2,4 ± 0,3	814 ± 55	1654 ± 64	54 ± 9	2,1 ± 0,3
1991-2000	2,9 ± 0,2	870 ± 38	1690 ± 53	59 ± 6	2,1 ± 0,1
2001-2010	3,0 ± 0,2	897 ± 60	1769 ± 40	65 ± 11	2,1 ± 0,3
2011-2020	3,3 ± 0,1	877 ± 39	1816 ± 33	55 ± 6	2,0 ± 0,1
Александровск-Сахалинский / Alexandrovsk-Sakhalinsk					
1971-1980	0,4 ± 0,1	629 ± 26	1527 ± 66	37 ± 4	1,8 ± 0,2
1981-1990	0,7 ± 0,3	624 ± 23	1580 ± 59	39 ± 5	1,6 ± 0,1
1991-2000	0,9 ± 0,1	666 ± 31	1645 ± 26	43 ± 7	1,6 ± 0,2
2001-2010	1,2 ± 0,2	743 ± 28	1696 ± 29	36 ± 3	1,9 ± 0,1
2011-2020	1,6 ± 0,1	709 ± 24	1636 ± 54	37 ± 5	1,6 ± 0,1

Примечание: после знака ± везде приводится стандартная ошибка средних.

Note: The standard error of the mean is given everywhere after the ± sign.

Их изменение компенсируется некоторым увеличением выпадающих осадков, распределение которых по сезонам года с максимальными суточными значениями необходимо учитывать при определении водного баланса агроландшафтов.

Выявленные изменения в климатической системе Сахалина показывают, что особую значимость приобретает прогнозирование водного баланса агроландшафтов и водопотребления сельскохозяйственных культур. Это требует разработки региональных прогностических моделей, имеющих природообусловленный характер [17]. В новых условиях особую важность приобретает комплексная мелиорация, позволяющая повышать устойчивость и продуктивность мелиорируемых земель, снижать нагрузку на агроландшафты [18, 19]. Решение накопившихся проблем в мелиоративном комплексе Сахалинской области, его адаптация к изменяющемуся климату могут быть осуществлены за счет широкого развития комплексной мелиорации.

В качестве основных направлений адаптации мелиоративного комплекса к изменяющему климату в Сахалинской области можно отметить следующие: 1) с учетом высокой социально-экономической роли сельского хозяйства в регионе требуются реконструкция существующих и строительство новых осушительных систем; 2) необходимы пересмотр и изменение расчетных значений водного стока по сравнению с теми, которые использовались ранее при строительстве гидротехнических сооружений и создании существующей мелиоративной сети; 3) требуется повышение устойчивости гидромелиоративных объектов в условиях паводков; 4) необходимым является

совершенствование конструктивных особенностей гидромелиоративных объектов.

Реализация комплекса адаптационных мероприятий должна способствовать повышению устойчивости агроландшафтов и эффективности ведения сельского хозяйства на мелиорируемых землях.

Выводы

В исследованиях выявлены изменения агрометеорологических факторов для южной и западной частей острова Сахалин. За прошедшие 50 лет (с 1971 по 2020 гг.) произошло значительное повышение среднегодовой температуры воздуха в Южно-Сахалинске: в среднем с 2,2 до 3,7°C (+1,5°C), а в Александровске-Сахалинском – с 0,5 до 1,6°C (+1,1°C). Изменение в количестве поступающего тепла компенсируется некоторым увеличением выпадающих осадков, распределение которых по сезонам года с максимальными суточными значениями необходимо учитывать при определении водного баланса агроландшафтов. Явная закономерность в долгосрочных изменениях гидротермического коэффициента для южных (зона избыточного увлажнения) и западных районов (зона достаточного увлажнения) Сахалина не прослеживается.

В Сахалинской области в условиях изменяющегося климата требуется внедрение организационно-технических мероприятий по адаптации мелиоративного комплекса к новым условиям, реализация которых должна способствовать повышению устойчивости агроландшафтов и эффективности ведения сельского хозяйства на мелиорируемых землях.

Список использованных источников

1. Добровольский А.А. Разработка программы лесоразведения в целях депонирования углерода на территории Санкт-Петербурга для адаптации к изменению климата / А.А. Добровольский, Д.Г. Терехова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. № 245. С. 6-22. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.6-22. EDN: XEBMIN
2. Майн Е.Р. Анализ эффективности планирования адаптации к изменениям климата экономики прибрежных регионов Карского моря / Е.Р. Майн, Д.О. Елисеев, Р.С. Мурадullaев // Экономика и предпринимательство. 2024. № 2(163). С. 415-419. DOI: 10.34925/EIP.2024.163.2.077.
3. Чугункова А.В. Направления адаптации и смягчения последствий изменения климата для экономики лесного хозяйства России / А.В. Чугункова // Экономический анализ: теория и практика. 2019. Т. 18, № 11(494). С. 2078-2102.
4. Макаров И.А. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации / И.А. Макаров, А.В. Чернокульский

References

1. Dobrovolsky A.A. Development of a afforestation program for carbon deposition in St. Petersburg to adapt to climate change / A.A. Dobrovolsky, D.G. Terekhova // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2023. No. 245. P. 6-22. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.6-22. EDN: XEBMIN
2. Main E.R. Analysis of the effectiveness of climate adaptation planning in the coastal regions of the Kara Sea / E.R. Main, D.O. Eliseev, R.S. Muradullaev // Economics and entrepreneurship. 2024. No. 2(163). P. 415-419. DOI: 10.34925/EIP.2024.163.2.077.
3. Chugunkova A.V. Directions of adaptation and softening of climate change effects for the Russian forestry economy / A.V. Chugunkova // Economic analysis: theory and practice. 2019. Vol. 18, No. 11(494). P. 2078-2102.
4. Makarov I.A. The impact of climate change on the Russian economy: a rating of regions on the need for adaptation / I.A. Makarov, A.V. Chernokulsky // Journal of the New Economic Association. 2023. No. 4(61). P. 145-202. DOI: 10.31737/22212264_2023_4_145-202.

// Журнал Новой экономической ассоциации. 2023. № 4(61). С. 145-202. DOI: 10.31737/22212264_2023_4_145-202.

5. Яшалова Н.Н. Долговременные риски российского растениеводства в условиях глобальных изменений климата в контексте продовольственной безопасности / Н.Н. Яшалова, Д.А. Рубан // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16, № 6(453). С. 1127-1140. DOI: 10.24891/re.16.6.1127.

6. Нейфельд В.В. Механизмы адаптации растениеводства регионов ПФО к последствиям глобальных климатических изменений / В.В. Нейфельд, М.Е. Кадомицева // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 37-43. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp37-43.

7. Николаев М.В. Уязвимость полевых культур к переувлажнению в условиях изменений климата в Нечерноземье Европейской России и варианты адаптации / М.В. Николаев // Известия Русского географического общества. 2021. Т. 153, № 4. С. 47-67. DOI: 10.31857/S0869607121040030.

8. Кирейчева Л.В. Развитие мелиораций в России при различных сценариях изменения климата / Л.В. Кирейчева, И.В. Глазунова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 3. С. 8-11.

9. Щедрин В.Н. Мелиорация земель – основа устойчивого развития АПК России / В.Н. Щедрин, Г.Т. Балакай // Вестник аграрной науки Дона. 2010. № 3. С. 98-107. EDN: PYDHFP

10. Дубенок Н.Н. Приоритеты научного обеспечения развития мелиорации / Н.Н. Дубенок // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 96-104.

11. Исаева Д.А. Актуальные вопросы развития сельского хозяйства Сахалинской области / Д.А. Исаева, Н.И. Феоктистова // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 66-3. С. 164-168. DOI: 10.18411/lj-10-2020-134. EDN: ZCYWGI

12. Ким Л.В. Особенности и перспективы развития сельского хозяйства Сахалинской области / Л.В. Ким, А.Д. Егорова // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 4-1. С. 110-115. DOI: 10.24411/2411-0450-2019-10486.

13. Головин В.Л. Особенности технических и технологических решений развития мелиорации земель Дальнего Востока / В.Л. Головин, В.С. Носовский, В.Д. Вишневецкая // Природообустройство. 2019. № 5. С. 6-20. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-6-20. EDN: ROQVCN

14. Ефанов В.Н. Урожайность, хозяйственно-ценные показатели и химический состав жимолости голубой в условиях муссонного климата Сахалина / В.Н. Ефанов, Е.В. Митусова // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2021. № 56. С. 64-73. DOI: 10.17217/2079-0333-2021-56-64-73. EDN: HSDGCD

15. Тентюков М.П. Оценка погодной устойчивости перспективного гибрида картофеля для сельскохозяйственного производства в условиях среднетаежной зоны северо-восточного Нечерноземья России / М.П. Тентюков, Д.А. Тимушев // Природообустройство. 2019. № 3. С. 48-53. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-3-48-53.

16. Дубенок Н.Н. Использование агрометеорологических данных для обоснования оросительных мелиораций саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Природообустройство. 2024. № 2. С. 35-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-35-40. environment.timacad.ru

5. Yashalova N.N. Long-term risks of Russian crop production in the context of global climate change in the context of food security / N.N. Yashalova, D.A. Ruban // Regional economics: theory and practice. 2018. Vol. 16, No. 6(453). P. 1127-1140. DOI: 10.24891/re.16.6.1127.

6. Neufeld V.V. Mechanisms of adaptation of crop production in the regions of the Volga Federal District to the consequences of global climate change / V.V. Neufeld, M.E. Kadomtseva // Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 4. P. 37-43. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp37-43.

7. Nikolaev M.V. Vulnerability of field crops to waterlogging in the conditions of climate change in the Non-Chernozem region of European Russia and adaptation options / M.V. Nikolaev // Proceedings of the Russian Geographical Society. 2021. Vol. 153, No. 4. P. 47-67. DOI: 10.31857/S0869607121040030.

8. Kireycheva L.V. Development of land reclamation in Russia under various scenarios of climate change / L.V. Kireycheva, I.V. Glazunova // Bulletin of the Russian agricultural science. 2015. No. 3. P. 8-11.

9. Shchedrin V.N. Land reclamation is the basis for sustainable development of the Russian agro-industrial complex / V.N. Shchedrin, G.T. Balakai // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2010. No. 3. P. 98-107. EDN: PYDHFP

10. Dubenok N.N. Priorities of scientific support for the development of land reclamation / N.N. Dubenok // News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2014. No. 1. P. 96-104.

11. Isaeva D.A. Actual issues of agricultural development in the Sakhalin region / D.A. Isaeva, N.I. Feoktistova // Trends in the development of science and education. 2020. No. 66-3. P. 164-168. DOI: 10.18411/lj-10-2020-134. EDN: ZCYWGI

12. Kim L.V. Features and prospects for the development of agriculture in the Sakhalin region / L.V. Kim, A.D. Egorova // Economy and business: theory and practice. 2019. No. 4-1. P. 110-115. DOI: 10.24411/2411-0450-2019-10486.

13. Golovin V.L. Features of technical and technological solutions for the development of land reclamation in the Far East / V.L. Golovin, V.S. Nosovsky, V.D. Vishnevskaya // Prirodoobustroystvo. 2019. No. 5. P. 6-20. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-6-20. EDN: ROQVCN

14. Efanov V.N. Productivity, economically valuable indicators and chemical composition of blue honeysuckle in the monsoon climate of Sakhalin / V.N. Efanov, E.V. Mitusova // Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2021. No. 56. P. 64-73. DOI: 10.17217/2079-0333-2021-56-64-73. EDN: HSDGCD

15. Tentyukov M.P. Assessment of weather resistance of a promising potato hybrid for agricultural production in the conditions of the middle taiga zone of the north-eastern Non-Black Earth Region of Russia / M.P. Tentyukov, D.A. Timushev // Prirodoobustroystvo. 2019. No. 3. P. 48-53. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-3-48-53.

16. Dubenok N.N. Use of agrometeorological data for the justification of irrigation reclamation of seedlings of fruit and berry crops in the Central Non-Black Earth Region / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 2. P. 35-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-35-40.

17. Regulation of water consumption of agricultural lands and crops taking into account the spatial-temporal variability of hydro meteorological factors / Zh.S. Mustafayev, A.A. Kuderin, A.N. Omarov, A.B. Tuletaev // Geography and water resources. 2024. No. 2. Pp. 3-14. DOI: 10.55764/2957-9856/2024-2-3-14. 8.

17. Нормирование водопотребления сельскохозяйственных угодий и культур с учетом пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов / Ж.С. Мустафаев, А.А. Кудерин, А.Н. Омаров, А.Б. Тулетаев // География и водные ресурсы. 2024. № 2. С. 3-14. DOI: 10.55764/2957-9856/2024-2-3-14.8.

18. Кирейчева Л.В. Биосферно-экологическое обоснование комплексных мелиораций / Л.В. Кирейчева // Природообустройство. 2023. № 2. С. 15-22. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-15-22. EDN: IXVCSO

19. Olgarenko G.V. A methodological approach to assessing the socio-ecological and economic efficiency of integrated agricultural land reclamation / G.V. Olgarenko, V.N. Krasnoshchekov, D.G. Olgarenko // International Scientific Journal. 2024. No. 1(94). P. 7-27. DOI: 10.34286/1995-4638-2024-94-1-7-27. EDN: RCKKCL

18. Kireycheva L.V. Biosphere-ecological justification of complex land reclamations / L.V. Kireycheva // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 2. P. 15-22. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-15-22. EDN: IXVCSO

19. Olgarenko G.V. A methodological approach to assessing the socio-ecological and economic efficiency / G.V. Olgarenko, V.N. Krasnoshchekov, D.G. Olgarenko // International Scientific Journal. 2024. Well. 1(94). P. 7-27. DOI: 10.34286/1995-4638-2024-94-1-7-27. EDN: RCKKCL

Об авторах

Дубенок Николай Николаевич, академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций; WOS Research ID AAC-7746-2020; Scopus Author ID57200111134; РИНЦ Author ID315062; <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>; ndubenok@rgau-msha.ru

Лебедев Александр Вячеславович, д-р с.-х., доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства; WOS Research ID AAX-9891-2020; Scopus Author ID57214907823; РИНЦ Author ID738683; <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>; alebedev@rgau-msha.ru

Гемонов Александр Владимирович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций; Scopus Author ID57214148770; РИНЦ Author ID877247; agemonov@yandex.ru

Калмыкова Екатерина Сергеевна, ассистент кафедры сельскохозяйственных мелиораций; РИНЦ Author ID1154240; k89253785828@yandex.ru

About the authors

Nikolay N. Dubenok, RAS academician, DSs (Agro), professor, head of the department of agricultural land reclamation; WOS Research ID AAC-7746-2020; Scopus Author ID57200111134; RSCI Author ID315062; <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>; ndubenok@rgau-msha.ru

Alexander V. Lebedev, DSs (Agro), associate professor of the department of land organization and forestry; WOS Research ID AAX-9891-2020; Scopus Author ID57214907823; RSCI Author ID738683; <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>; alebedev@rgau-msha.ru

Alexander V. Gemonov, CSs (Agro), associate professor of the department of agricultural land reclamation; Scopus Author ID57214148770; RSCI Author ID877247; agemonov@yandex.ru

Ekaterina S. Kalmykova, assistant of the department of agricultural land reclamation; RSCI Author ID1154240; k89253785828@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В., Калмыкова Е.С. выполнили исследование, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Вклад авторов / Contribution of the authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 06.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.08.2025

Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gemonov A.V., Kalmykova E.S. performed the research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have the copyright for the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-22-27>

УДК 631.6:624.131.276:614.849



ВЛИЯНИЕ ПРОЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов[✉], А.С. Гузалов

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

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по способности к самовозгоранию торфяных почв на примере Рязанской области при проливе дизельного топлива в условиях проведения полевых работ. Заправка дизельным топливом сельскохозяйственной техники в полевых условиях полностью исключает использование АЗС в связи невозможностью ее перегона, что занимает значительное время, и как следствие – приносит большие временные и экономические затраты. Поэтому данная операция производится на месте проведения сельскохозяйственных работ. Для организации полевого заправочного пункта сельскохозяйственной техники необходимо оборудовать площадку для размещения и хранения дизельного топлива с соблюдением пожарной безопасности и защиты окружающей среды. В состав дизельного топлива входят углеводороды с числом углеродных атомов 15, температура кипения которых составляет 190-350°C. В процессе заправки сельскохозяйственной техники в полевых условиях дизельным топливом происходят его проливы в результате переполнения резервуаров для хранения, баков тракторов, автомобилей и комбайнов, утечки в соединениях топливопроводов, кранов и их повреждения. Это повышает вероятность возникновения пожара, особенно на торфяных почвах, которые имеют склонность к самовозгоранию и самовоспламенению.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-16-00081 (URL: <https://rscf.ru/project/24-16-00081/>)

Ключевые слова: торфяная почва, объемная плотность, степень разложения, зольность, пожары, земли сельскохозяйственного назначения, дизельное топливо

Формат цитирования: Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Гузалов А.С. Влияние пролива дизельного топлива на изменение пожарной опасности торфяных почв при производстве сельскохозяйственных работ // Природообустройство. 2025. № 4. С. 22-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-22-27>

Original article

INFLUENCE OF DIESEL FUEL SPILLAGE ON CHANGES IN FIRE HAZARD OF PEAT SOILS DURING AGRICULTURAL WORKS

O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov[✉], A.C. Guzalov

Russian Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; Institute of Mechanics and Energy named after V.P. Goryachkin; 127434, Moscow, st. Timiryazevskaya. 49. Russia

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the spontaneous combustion ability of peat soils, using the example of the Ryazan region during a diesel fuel spill during field work. Refueling agricultural machinery with diesel fuel in the field completely eliminates the use of gas stations, due to the impossibility of its transfer, which takes a significant amount of time, and as a result, large time and economic costs, so this operation is carried out at the site of agricultural work. To organize a field refueling point for agricultural machinery, it is necessary to equip a site for the placement and storage of diesel fuel in compliance with fire safety and environmental protection. Diesel fuel contains hydrocarbons with a carbon number of 15 – the boiling point of which is 190-350°C. During the process of refueling agricultural machinery in the field with diesel fuel, spills occur as a result of overfilling storage tanks, tractor, car and combine tanks, leaks in fuel line connections, taps and their damage, which increases the likelihood of fire, especially on peat soils, which have a tendency to spontaneous combustion and self-ignition.

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-16-00081 (URL: <https://rscf.ru/project/24-16-00081/>).

Keywords: peat soil, bulk density, degree of decomposition, ash content, fires, agricultural land, diesel fuel

Format of citation: Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.C. Influence of diesel fuel spillage on changes in fire hazard of peat soils during agricultural works // Prirodobustrojtvo. 2025. № 4. P. 22-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-22-27>

Введение. В полевых условиях работы сельскохозяйственной техники выполняют следующие виды технического обслуживания: заправка топливом и техническими жидкостями; мойка и чистка; технический осмотр и ремонт. Как правило, в период посевных и уборочных работ рабочий день может длиться более 10 ч, что обуславливает интенсивность использования машин и агрегатов, задействованных в производственном процессе.

Заправка эксплуатационными материалами в полевых условиях представляет особую сложность. Здесь полностью исключено использование для заправки топливом АЗС нефтяных компаний, поэтому на месте производства работ оборудуются места заправки техники, на которых используют следующие варианты заправочных пунктов:

– модульная автозаправочная станция, которая предназначена для заправки топливом и имеет надземное расположение емкостей для хранения жидкого топлива;

– передвижная автозаправочная станция, технологическая система которой размещается на автомобильном шасси или прицепе и полуприцепе [1].

Проливы топлива могут составлять до 2000 кг за сезон производства полевых работ [2]. По данным литературы, пролив топлива составляет 116,7 г. на 1 т [3, 4]. В химический состав дизельного топлива входят 3 подгруппы углеводородных соединений – таких, как алканы (10-40%), нафтены (20-60%), ароматические углеводороды (15-30%).

Таким образом, насыщение торфяной почвы указанными углеводородами создает предпосылку к возникновению очагов тления или

горения в верхнем пожароопасном слое торфа, что особенно актуально при высоких температурах воздуха, малом количестве осадков и низком расположении грунтовых вод. Также дизельное топливо способствует понижению энергии активации торфа, что повышает возможность возникновения на торфяной почве пожара ввиду эффекта вынужденного зажигания, поскольку в данном случае торф, пропитанный дизельным топливом, обладает низкой энергией активации [5].

Цель исследований: экспериментальное изучение способности к самовозгоранию торфяных почв при проливе дизельного топлива в условиях проведения полевых работ на примере Рязанской области.

Материалы и методы исследований. Для проведения экспериментальных исследований применялся торф, отобранный в Рязанской области на осушенном торфяном массиве Кальское, используемом в сельскохозяйственном обороте для выращивания многолетних трав. Образцы торфяной почвы отбирались в трех локациях торфяной залежи. Точечные (единичные) пробы отбирали буром. Из точечных (единичных) проб, отобранных с элементарного участка, составляли объединенную пробу. Каждую объединенную пробу составляли из 20 точечных проб. Масса объединенной пробы составляла не менее 1000 г.

Характеристики торфа приведены в таблице. Из анализа следует, что он обладает высокой степенью разложения (52,5), высокой зольностью (89,6%) и низким содержанием углерода (10,4). Это характеризует его как непожароопасную, обладающую высокой энергией активации, то есть требующую высоких температур для возникновения очагов тления [6, 7].

Таблица. Химический состав образцов торфа

Table. Chemical composition of peat samples

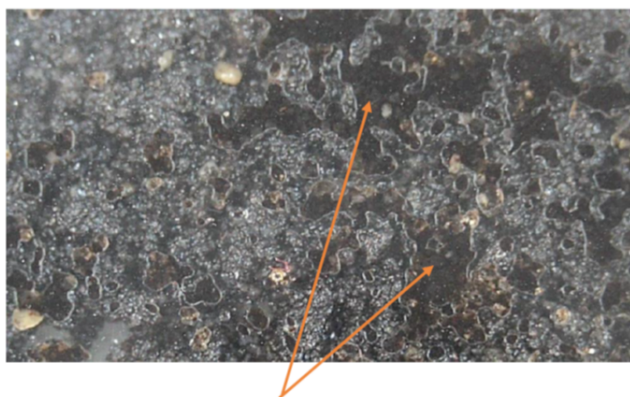
Гигроскопическая влажность, % <i>Hygroscopic moisture, %</i>	Сера подвижная, млн-1 <i>Mobile sulfur, mln-1</i>	Массовая доля железа, млн-1 <i>Iron mass share, mln-1</i>	Массовая доля зольности, % <i>Mass share of ash content, %</i>	Общий (органический) углерод <i>Total (organic) carbon</i>	Метод степени разложения <i>Decomposition degree method</i>	Гигроскопическая влажность, % <i>Hygroscopic moisture, %</i>
ГОСТ 5180 <i>GOST 5180</i>	ГОСТ 26490 <i>GOST 26490</i>	М МВИ-80-2008 <i>M MVI-80-2008</i>	ГОСТ 27784-88 <i>GOST 27784-88</i>	Метод сухого сжигания <i>Dry burning method</i>	ГОСТ 10650 <i>GOST 10650</i>	ГОСТ 5180 <i>GOST 5180</i>
3,6	9,3	91	89,6	10,4	52,5	3,6

Для проведения эксперимента использовались образцы торфа – как обработанные дизельным топливом, так и необработанные. Обработка производилась следующим образом: предварительно высушенная до абсолютно сухого состояния торфяная почва загружалась в контейнер К-30 цилиндрической формы, изготовленный из латунной сетки диаметром и высотой 30 мм [8] (рис. 1).

Далее контейнер с торфом помещался в емкость с дизельным топливом и выдерживался до его полного насыщения топливом, после чего выдерживался при температуре 35°C в сушильном шкафу СНОЛ-3.5. При этом каждые сутки он взвешивался на весах марки АСЗЕТ СУ-513 с точностью 0,001 г. Образец считался готовым для проведения испытаний, когда прекращалась потеря его массы. Далее 2 контейнера с торфом К-30Д, обработанным дизельным топливом, и необработанным К-30С помещались в лабораторную установку, схема которой представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Контейнер К-30 с торфяной почвой
Fig. 1. Container K-30 with peat soil



Пятна топлива на предметном стекле

Рис. 3. Образец торфяной почвы, обработанной дизельным топливом, под предметным стеклом

Fig. 3. Sample of peat soil treated with diesel fuel under a slide

Результаты и их обсуждение. В ходе эксперимента были изучены образцы торфа перед загрузкой в контейнеры. На рисунках 3, 4 представлены снимки торфяной почвы под предметным стеклом с содержанием дизельного топлива и без него, с увеличением 400 крат. Из их сравнения следует, что в обработанном образце после высушивания присутствует значительное количество неиспарившейся тяжелой фракции дизельного топлива.

Далее образцы торфа загружались в экспериментальную установку (рис. 2), где создавался

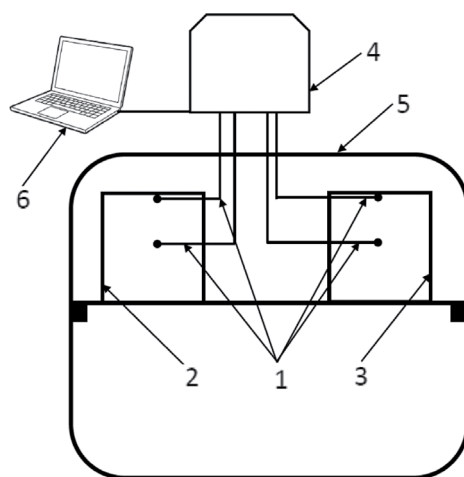


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

- 1 – термопары ДТКП-0.5-4;
- 2 – контейнер К-30Д; 3 – контейнер К-30С;
- 4 – измеритель, регистратор 4 канала ОВЕН;
- 5 – сушильный шкаф СНОЛ-3,5;
- 6 – персональный компьютер с программным обеспечением ОВЕН

Fig. 2. Scheme of the experimental installation where:
1 – thermocouples DTKP-0.5-4; 2 – container K-30D;
3 – container K-30S; 4 – meter recorder 4-channel OVEN;
5 – drying cabinet SNOL – 3.5;
6 – personal computer with software OVEN

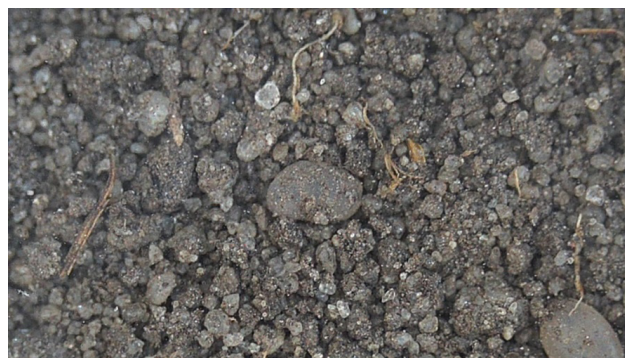
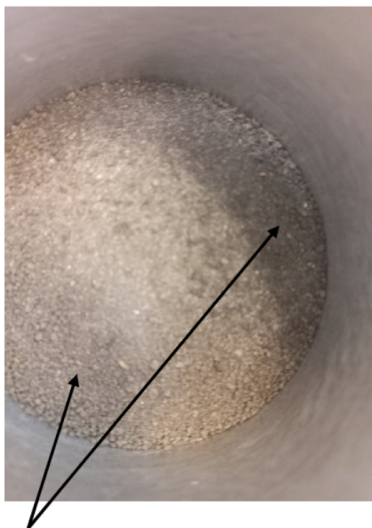


Рис. 4. Образец торфяной почвы, не обработанной дизельным топливом, под предметным стеклом

Fig. 4. Peat soil sample untreated with diesel fuel under a slide



Поверхностно активные центры возникновения тления

Рис. 5. Поверхностно активные центры возникновения тления на поверхности образца торфа, обработанного дизельным топливом, в контейнере К-30Д

Fig. 5. Surface active centers of smoldering occurrence on the surface of the peat sample treated with diesel fuel in the K-30D container

температурный режим. Из анализа полученных данных следует, что самовоспламенение образца торфа в контейнере К-30Д произошло на 64 минуте испытаний при температуре 131°C на его поверхности. Это сопровождалось активным задымлением [9] с образованием очагов тления на его поверхности, а не в центре, что прослеживается на рисунке 5. Следует отметить, что температура теплофизического центра была ниже, чем температура поверхности (рис. 6).

Образец, обработанный дизельным топливом, не самовоспламенился, его температура поверхности и центра была ниже, чем в образце, обработанном дизельным топливом. На рисунке 7 представлена также динамика разогрева поверхности торфяной почвы с обработкой дизельным топливом и необработанной почвы. Из данных рисунка следует, что необработанные образцы имели более низкую температуру поверхности.

Следует отметить, что если температура превышает значения, при которых возникает самовозгорание [10, 11], данный процесс отмечается более длительным накоплением энергии

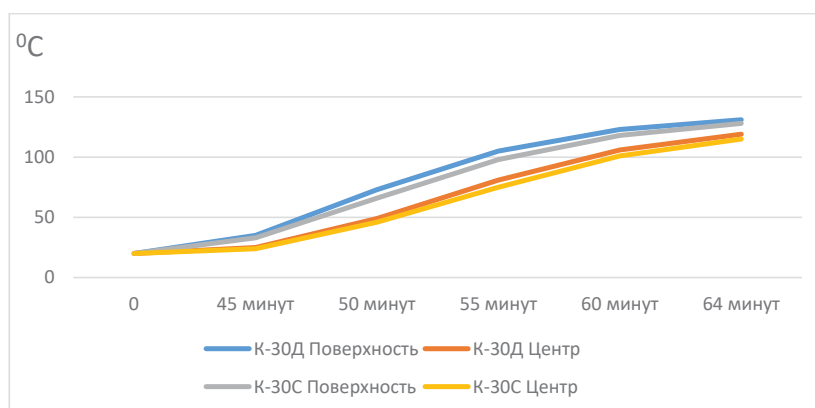


Рис. 6. Динамика самовоспламенения торфа, обработанного дизельным топливом (К-30Д), по сравнению с необработанным образцом (К-30С) при одинаковой объемной плотности $1,1 \text{ г/см}^3$

Fig. 6. Self-ignition dynamics of peat treated with diesel fuel, K-30D, compared to the untreated sample, K-30C, at the same bulk density of 1.1 g/cm^3



Рис. 7. Динамика разогрева поверхностей образцов К-30Д и К-30С до самовоспламенения торфяной почвы, обработанной дизельным топливом, при объемной плотности $1,1 \text{ г/см}^3$

Fig. 7. Dynamics of heating of the surfaces of samples K-30D and K-30S before self-ignition of peat soil treated with diesel fuel at a bulk density of 1.1 g/cm^3

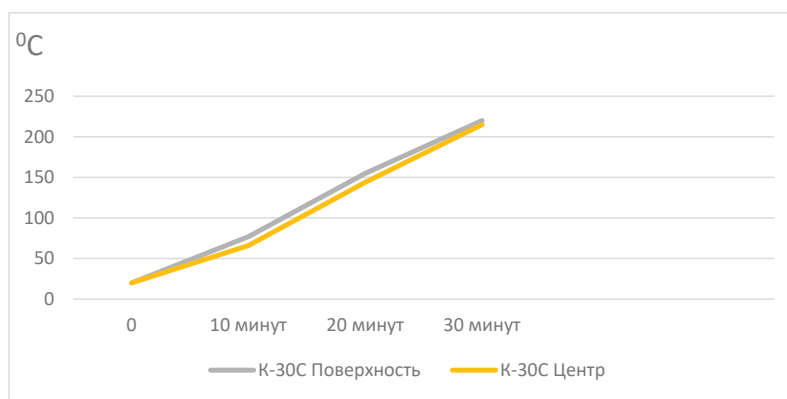


Рис. 8. Динамика процесса вынужденного зажигания образца торфа в контейнере К-30С, не обработанного дизельным топливом, при объемной плотности $1,1 \text{ г/см}^3$

Fig. 8. Dynamics of the forced ignition process of a peat sample in a K-30C container not treated with diesel fuel at a bulk density of 1.1 g/cm^3

в центре нагреваемого материала, то он вынужденно возникает на поверхности.

В процессе эксперимента в лабораторной установке были также созданы условия, при которых произошло самовоспламенение образца торфа в контейнере К-30С (рис. 8).

Таким образом, из результатов проведенного эксперимента следует, что обработанный дизельным топливом торф имеет энергию активации значительно ниже, чем необработанный торф, и, соответственно, более низкую температуру самовоспламенения.

Выводы

1. При проведении сельскохозяйственных работ в полевых условиях заправка техники топливом производится непосредственно на местах и зачастую в ночное время топливозаправщиками

или с помощью специальных емкостей, поэтому его проливы неизбежны.

2. Дизельное топливо при проливе на торфяную почву сохраняется в ней в течение достаточно длительного времени, полностью из нее не испаряется и не стекает, поскольку торф обладает высокой сорбционной способностью.

3. Солярка значительно снижает энергию активации торфа и температуру его самовоспламенения. Обработанный образец самовоспламенился при температуре 131°C , необработанный — при температуре 220°C , что говорит о повышении его пожароопасности.

4. Места пролива топлива в незамедлительном порядке подлежат рекультивации, поскольку вероятность возникновения торфяного пожара на данных участках значительно возрастает.

Список использованных источников

1. Нормы пожарной безопасности НПБ 111-98* «Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности» (введены в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 23 марта 1998 г. №25) (с изм. и доп. от 2 февраля 1999 г., 8 ноября 2000 г., 20 июля 2001 г., 23 мая 2002 г.)
2. Пуляев Н.Н. Повышение эффективности использования топливозаправочных средств в составе уборочно-транспортных комплексов: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пуляев Николай Николаевич. — Москва, 2005. 19 с.
3. Хрестенко Р.В. Определение параметров загрязнения атмосферы городской среды от проливов бензина и технических жидкостей автотранспорта и совершенствование методов его снижения: специальность 21.10.00: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хрестенко Руслан Владимирович, Волгоград: 2022. 164 с.
4. Рыбаков К.В. Автозаправочные процессы и системы в полевых условиях: учебник / К.В. Рыбаков, О.Н. Дидманидзе, Т.П. Карпекина, Н.Н. Пуляев // М.: УМЦ «ТРИАДА», 2004. 292 с. ISBN 5-9546-0018-X

References

1. Fire safety standards NPB111-98* "Gas stations. Fire safety requirements" (put into effect by order of the Main Directorate of the State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation dated March 23, 1998 №25) (as amended and supplemented on February 2, 1999, November 8, 2000, July 20, 2001, May 23, 2002)
2. Pulyaev N.N. Increasing the efficiency of using fuel-filling equipment as part of harvesting and transport complexes: specialty 05.20.03 "Technologies and means of technical maintenance in agriculture": abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Pulyaev Nikolay Nikolaevich. — Moscow, 2005. 19 p. EDN: NIOALD
3. Khrestenko R.V. Determination of the parameters of urban atmospheric pollution from spills of gasoline and technical fluids of motor vehicles and improvement of methods for its reduction: specialty 21.10.00: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Khrestenko Ruslan Vladimirovich, Volgograd: 2022. 164 p. EDN: ZPEWWT
4. Rybakov K.V. Refueling processes and systems in the field: textbook. / K.V. Rybakov, O.N. Didmanidze, T.P. Karpekina, N.N. Pulyaev // M.: UMC "TRIADA", 2004. 292 p.: ill. ISBN 5-9546-0018-X

5. Дидманидзе О.Н. Результаты исследований пожароопасности торфа в зависимости от степени его разложения на землях сельскохозяйственного назначения / О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов, Н.Н. Пуляев, А.С. Гузалов // Природообустройство. 2024. № 4. С. 26-33. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-4-26-33. EDN: VPAVME

6. Experimental Studies on Peat Soils' Fire Hazard Based on Their Physical and Chemical Properties: The Vasilievsky Mokh Deposit Beneath the Tver Region Agricultural Lands / O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, A.S. Guzalov [et al.] // Fire. 2025. Vol. 8, No. 2. P. 68. DOI: 10.3390/fire8020068. EDN: MIEKNB

7. Evgrafov A. Experimental studies of temperature-dynamic properties of peat soils in agricultural lands / A. Evgrafov, A. Guzalov, D. Moskvichev // E3S Web of Conferences: XI International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, Termez, Uzbekistan, 31 октября – 02.2024 года. – Termez, Uzbekistan: EDP Sciences, 2025. P. 5003. DOI: 10.1051/e3sconf/202561305003. EDN: KQAYOQ

8. Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.В. Физические модели горения в системе пожарной безопасности: монография / Я.С. Киселев О.А. Хорошилов, Ф.В. Демехин / МЧС России; Санкт-Петербургский государственный университет противопожарной службы. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 347 с. EDN: QNNYOT

9. Muraleedharan T. & Radojevic, Miroslav & Waugh, Allan & Caruana, Anthony. (2000). Emissions from the combustion of peat: An experimental study. Atmospheric Environment – ATMOS ENVIRON. 34. 3033-3035. 10.1016/S1352-2310(99)00512-9.

10. Дидманидзе О.Н. Экспериментальные исследования возникновения очагов самовозгорания на торфяных почвах Тверской области / О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов, А.С. Гузалов // Природообустройство. 2024. № 5. С. 37-42. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-5-37-42. EDN: BKTIXU

11. Hu, Yuqi & Christensen, Eirik & Restuccia, Francesco & Rein, Guillermo. (2018). Transient gas and particle emissions from smouldering combustion of peat. Proceedings of the Combustion Institute. 37. 10.1016/j.proci.2018.06.008.

5. Didmanidze O.N. Results of studies of peat fire hazard depending on the degree of its decomposition on agricultural lands / O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, N.N. Pulyaev, A.S. Guzalov // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 4. P. 26-33. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-4-26-33. EDN: VPAVME

6. Experimental Studies on Peat Soils' Fire Hazard Based on Their Physical and Chemical Properties: The Vasilievsky Mokh Deposit Beneath the Tver Region Agricultural Lands / O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, A.S. Guzalov [et al.] // Fire. 2025. Vol. 8, No. 2. P. 68. DOI: 10.3390/fire8020068. EDN: MIEKNB

7. Evgrafov A. Experimental studies of temperature-dynamic properties of peat soils in agricultural lands / A. Evgrafov, A. Guzalov, D. Moskvichev // E3S Web of Conferences: XI International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, Termez, Uzbekistan, 31 октября – 02.2024 года. – Termez, Uzbekistan: EDP Sciences, 2025. P. 5003. DOI: 10.1051/e3sconf/202561305003. EDN: KQAYOQ

8. Kiselev Ya.S., Khoroshilov O.A., Demekhin F.V. Physical models of combustion in the fire safety system: monograph / Ya.S. Kiselev O.A. Khoroshilov, F.V. Demekhin / EMERCOM of Russia; St. Petersburg State University of Fire Service. SPb.: Publishing house of the Polytechnic University, 2009. 347 p. EDN: QNNYOT

9. Muraleedharan T. & Radojevic, Miroslav & Waugh, Allan & Caruana, Anthony. (2000). Emissions from the combustion of peat: An experimental study. Atmospheric Environment – ATMOS ENVIRON. 34. 3033-3035. 10.1016/S1352-2310(99)00512-9.

10. Didmanidze O.N. Experimental studies of the occurrence of spontaneous combustion foci on peat soils of the Tver region / O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, A.S. Guzalov // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 37-42. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-5-37-42. EDN: BKTIXU

11. Hu, Yuqi & Christensen, Eirik & Restuccia, Francesco & Rein, Guillermo. (2018). Transient gas and particle emissions from smouldering combustion of peat. Proceedings of the Combustion Institute. 37. 10.1016/j.proci.2018.06.008.

Об авторах

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

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

Артембек Сергеевич Гузалов, к.т.н.; ORSID 0000-0003-3526-4332, AuthorID: 1036988; aguzalov@mail.ru

Information about the authors

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

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

Artembek S. Guzalov, CSs (Tech), associate professor; ORSID 0000-0003-3526-4332, AuthorID: 1036988; aguzalov@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Гузалов А.С. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.05.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 17.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 17.08.2025

Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.C. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-28-33>

УДК 626.86:631.62



КОНСТРУКЦИЯ УСТЬЕВОГО СООРУЖЕНИЯ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ И КРЕПЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РУЧЬЯ

В.В. Пчёлкин , Е.А. Попова

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

Аннотация. Цель работы – разработка конструкции устьевого сооружения дренажной системы и крепления поперечного сечения ручья первой очереди строительства военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных Сил РФ «ПАТРИОТ». В статье дана новая конструкция устьевого сооружения в дренажной системе и крепления поперечного сечения ручья. Предложенная конструкция устья позволит повысить качество дренажных вод, сбрасываемых в водоприемник, за счет снижения скорости течения воды в щебеночной обсыпке, так как при этом взвешенные частицы будут выпадать в осадок. Кроме того, со временем на поверхности отдельных фракций щебня образуются зеленые водоросли, которые, поглощая растворенные в воде вещества, очищают ее. В статье предложена новая конструкция крепления поперечного сечения ручья, способная перехватывать напорные грунтовые воды в местах их выклинивания, для предотвращения вымывания мелкозема, способствующего образованию провалов и обрушению откосов ручья. Работа без сбоев (2015-2025 гг.) конструкции устьевого сооружения в дренажной системе и крепления поперечного сечения ручьев доказывает их хорошую работоспособность и адекватность разработанных технических решений. Показано, что при строительстве устьевых сооружений в дренажных системах и креплениях поперечных сечений водотоков, осуществляющихся в XXI в., необходимо использовать опыт предыдущих поколений при проектировании и эксплуатации устьевых сооружений в дренажных системах, креплениях поперечных сечений водотоков, а также новые, более совершенные и экологически выгодные решения.

Ключевые слова: устьевое сооружение, дренажная система, геотекстиль, дренажное устройство, фильтрующая обсыпка, крепления поперечных сечений

Формат цитирования: Пчелкин В.В., Попова Е.А. Конструкция устьевого сооружения дренажной системы и крепление поперечного сечения ручья // Природообустройство. 2025. № 4. С. 28-33. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-28-33>

Original article

THE DESIGN OF THE MOUTH OF THE DRAINAGE SYSTEM AND THE FASTENING OF THE CROSS-SECTION OF THE STREAM

V.V. Pchelkin , E.A. Popova

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

Abstract. The purpose of the work is to develop the design of the mouth of the drainage system and the fastening of the cross-section of the stream of the first stage of construction of the military-patriotic park of culture and recreation of the Armed Forces of the Russian Federation “PATRIOT”. The article presents a new design of the mouth structure in the drainage system and the fastening of the cross-section of the stream. The proposed design of the mouth will improve the quality of drainage waters discharged into the intake by reducing the flow rate of water in the gravel deposit, as suspended particles will precipitate. In addition, over time, green algae form on the surface of individual fractions of crushed stone, which, by absorbing substances dissolved in water, purify it. The article proposes a new design for fixing a cross-section of a stream capable of intercepting pressurized groundwater in places where it is wedged out to prevent the leaching of fine earth, which contributes to the formation of sinkholes and the collapse of stream slopes. The uninterrupted operation (2015-2025) of the mouth structure in the drainage system and the fastening of the cross-section of streams proves their good operability and adequacy of the developed technical solutions. It is shown that during the construction of mouth structures in drainage systems and cross-sectional anchorages of watercourses carried out in the 21st century, it is necessary to use

the experience of previous generations in the design and operation of mouth structures in drainage systems, as well as cross-sectional anchorages of watercourses, and the use of new more advanced and environmentally beneficial solutions.

Keywords: estuarine structure, drainage system, geotextile, drainage device, filtration sprinkling, cross-section fasteners

Format of citation: Pchelkin V.V., Popova E.A. The design of the mouth of the drainage system and the fastening of the cross-section of the stream // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 28-33. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-28-33>

Введение. Военно-патриотический парк культуры и отдыха Вооруженных Сил РФ «ПАТРИОТ» расположен в районе г. Кубинки Одинцовского городского округа Московской области. Для осушения данной территории была запроектирована и построена дренажная система с двумя ручьями. Площадь первой очереди строительства военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных Сил РФ «ПАТРИОТ» составляет 25 га. Абсолютные отметки территории колеблются в пределах от 188 до 220 м. Уровень горизонта грунтовых вод устанавливается на глубине 0,5-6,1 м от поверхности земли. Кроме того, на данной территории формируются воды типа верховодки в период снеготаяния и выпадения обильных осадков. Водовмещающими грунтами являются четвертичные пылеватые пески и пески средней крупности.

Цель исследований: разработка конструкции устьевого сооружения дренажной системы и крепления поперечного сечения ручья первой очереди строительства военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных Сил РФ «ПАТРИОТ».

Материалы и методы исследований. Работа является актуальной, так как направлена на разработку и исследование приемов защиты территорий от подтопления и размыва земель, а также совершенствование способов улучшения состояния водоприемников, сбросных и дренажных вод.

Согласно техническому заданию сброс воды устьевыми сооружениями в водоприемник не может осуществляться открытым током. Анализ различных источников [1-4] показал, что таких конструкций устьевых сооружений нет. В этой связи было принято решение разработать конструкцию устьевого сооружения, способного справиться с поставленной задачей. На способ строительства устьевого сооружения был получен патент на изобретение [5].

В качестве водоприемника предусмотрено использовать ручьи, однако в естественном положении они находились в неудовлетворительном состоянии и требовали регулирования. При регулировании ручьев было выполнено крепление

поперечного сечения. Анализ известных конструкций крепления поперечного сечения ручьев показал [6-10], что они не предназначены для перехвата напорных грунтовых вод. В связи с этим в известную конструкцию был введен новый элемент – щебеночная банкетка, обернутая в геотекстиль. Этот элемент позволил создать дополнительное сопротивление грунтового напорного току воды, что в конечном счете предотвратило обрушение откосов.

Гидрогеологические условия. Район объекта осушения находится в пределах Смоленско-Московской возвышенности и является частью пологоволнистой моренной равнины. Рельеф данной территории пологоволнистый и пологохолмистый, местами плоский. Климат территории умеренно континентальный с достаточным увлажнением, сравнительно теплым летом и умеренно холодной зимой, с устойчивым снежным покровом.

Согласно гидрогеологическим изысканиям (ООО «Спецметропроект») гидрогеологические условия участка строительства характеризуются наличием четвертичного, надъюрского и юрского водоносных горизонтов.

Четвертичный водоносный горизонт имеет повсеместное распространение и приурочен к флювиогляциальным пескам пылеватым, прослоям мелким (ИГЭ-10), средней крупности, прослоями крупным (ИГЭ-11), водонасыщенным московского оледенения; к линзам водонасыщенных песков во флювиогляциальных суглинках московского оледенения и суглинках днепровской морены.

Горизонт имеет безнапорный, на отдельных участках – напорный характер. Уровень горизонта устанавливается на глубине 0,5-6,1 м от поверхности земли (на абсолютных отметках от 189,06 до 205,14 м). На участках с напорным характером пьезометрический напор составляет от 0,1 до 4,5 м. Нижним водупором являются моренные суглинки днепровской стадии оледенения. Сезонные колебания уровня составляют $\pm 2,0$ м, на отдельных участках отмечено их заболачивание. Территория находится в естественном подтопленном состоянии. Тип водного питания

грунтовой. Методом осушения при грунтовой типе водного питания является понижение уровня грунтовых вод. Поэтому на данной территории следует построить площадной (систематический) дренаж.

Дренажная система. Осушительная сеть запроектирована с учетом особенностей данного участка. Она состоит из площадного горизонтального дренажа с двумя ручьями. Грунтовые воды отводятся дренажем, далее по коллектору поступают в ручей и отводятся за пределы осушаемого участка. В проекте для защиты участка от подтопления грунтовыми водами используется систематический дренаж. Площадь объекта составляет 25 га, расход дренажного стока с данной площади – 11,57 л/с. Норма осушения принята за 2,0 м. Длина дрен систематического дренажа изменяется от 4,25 до 50 м. Дрены сопрягаются с коллектором под углом от 60 до 90°. Расстояния между дренами принято за 40 м. В местах сопряжения дрен с коллекторами предусмотрено устройство смотровых железобетонных колодцев диаметром 1 м. Кроме того, через 50 м и в местах поворота на дренах устраиваются смотровые колодцы из ПВХ диаметром 425 мм. Уклоны дрен приняты в пределах от 0,03 до 0,003, коллектора – до 0,003. Коллектор принимает воду из дрен и отводит ее в ручей. В местах сопряжения коллекторов с ручьем устраиваются устьевые сооружения. При пересечении дорог с ручьями были запроектированы трубчатые переезды. Против суффозии грунта при укладке дренажа трубы были обернуты в геотекстиль. Для защиты поперечного сечения ручьев от обрушения откосов было предусмотрено устройство георешетки с заполнением в верхней части растительным грунтом, а в остальной части – гранитным щебнем. В донной части русла ручьев был уложен бутовый камень. В проекте принята минимальная глубина ручьев – 0,85 м, а уклон, равный 0,00276 (табл.).

Схема дренажной системы с двумя ручьями военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных Сил РФ «ПАТРИОТ» первой очереди строительства представлена на рисунке 1.

Результаты и их обсуждение. Конструкция устьевого сооружения. Устьевое сооружение дренажной системы может быть использовано в гидромелиорации и строительстве и применено для осушения подземных частей зданий, сооружений, дачных и коттеджных участков, дорог, откосов выемок, сельскохозяйственных полей.

Известно устьевое сооружение дренажной системы, состоящее из коллекторной трубы, сочлененной с дренажным колодцем [1].

Недостатком известного способа является то, что вода из дренажной системы напрямую сливается в водотоки (реки) и водоемы (озера, водохранилища). Согласно Водному кодексу РФ сброс дренажной воды напрямую в водоприемники является недопустимым, так как загрязняет воды водоприемников.

Известно устье дренажной системы, состоящее из коллекторной трубы и железобетонных и других оголовков [7].

Недостатком известного способа является нарушение экологической безопасности ввиду того, что вода из дренажной системы напрямую сливается в водотоки (реки) и водоемы (озера, водохранилища) и загрязняет их.

Задача предлагаемой конструкции устьевого сооружения – обеспечить качество воды дренажного стока. Технический результат – обеспечение экологической безопасности.

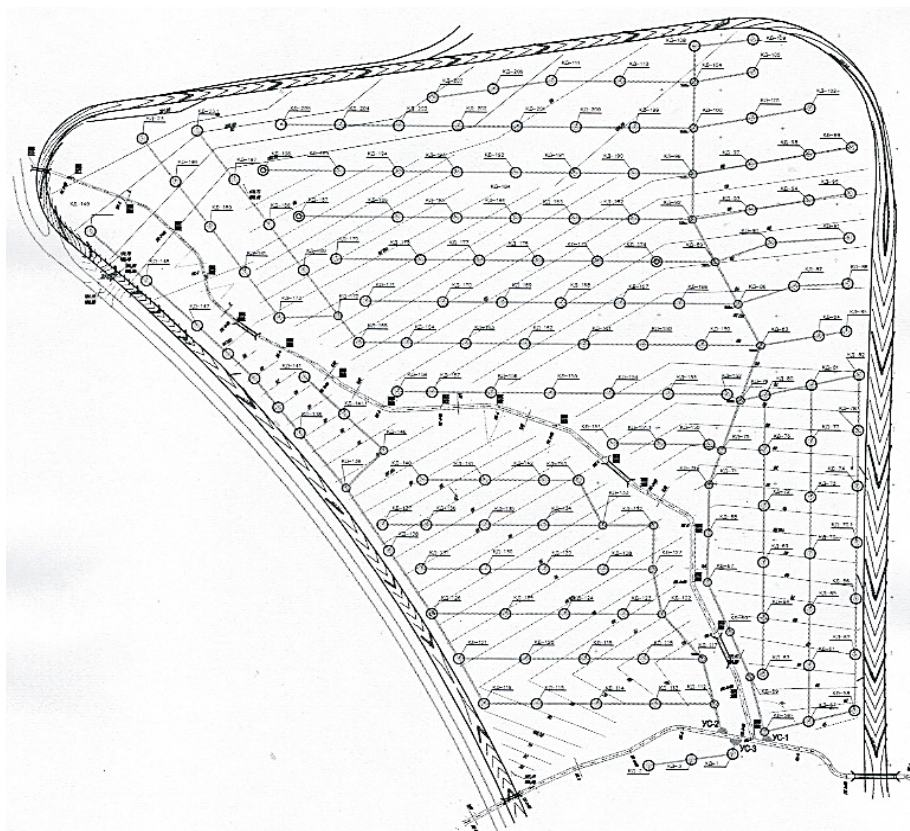
Технический результат достигается за счет того, что устье дренажной системы, включающее в себя коллекторную трубу и дренажный колодец, дополнительно снабжено устьевой трубой, соединяющей дренажный колодец с водоприемным колодцем без дна, а ниже уложена перфорированная сбросная труба в гранитном щебне, которые гидравлически сопряжены между собой, при этом гранитный щебень размещен в траншее, впадающей в водоприемник. Предлагаемая конструкция устьевого сооружения дренажной системы представлена на рисунке 2.

Устьевое сооружение дренажной системы работает следующим образом. Вода из дренажной трубы сливается в дренажный колодец, из которого она по устьевой трубе перетекает

Таблица 1. Характеристики ручьев до регулирования русла и после регулирования

Table 1. Characteristics of streams before and after channel regulation

Номер ручья <i>Stream number</i>	До регулирования <i>Before regulation</i>		После регулирования <i>After regulation</i>	
	Глубина, м <i>Depth, m</i>	Ширина, м <i>Width, m</i>	Глубина, м <i>Depth, m</i>	Ширина, м <i>Width, m</i>
P-1	0,05-0,4	0,5-2,1	0,96-1,27	5,04-6,28
P-2	0,1-0,4	0,5-4,05	0,85-1,60	4,60-7,60



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- | | |
|---|------------------------------|
| — Коллектор | → — Направление течения воды |
| — Дрена | УС-2 — Устьевое сооружение |
| ○ — Смотровой колодец ж/б d=1000 | — Русло ручья |
| ○ — Смотровой колодец дренажа ПВХ d=400 | КД-65 — Номер колодца |
| — Дорога | |

Рис. 1. Схема дренажной системы с двумя ручьями

Fig. 1. Scheme of the drainage system with two streams

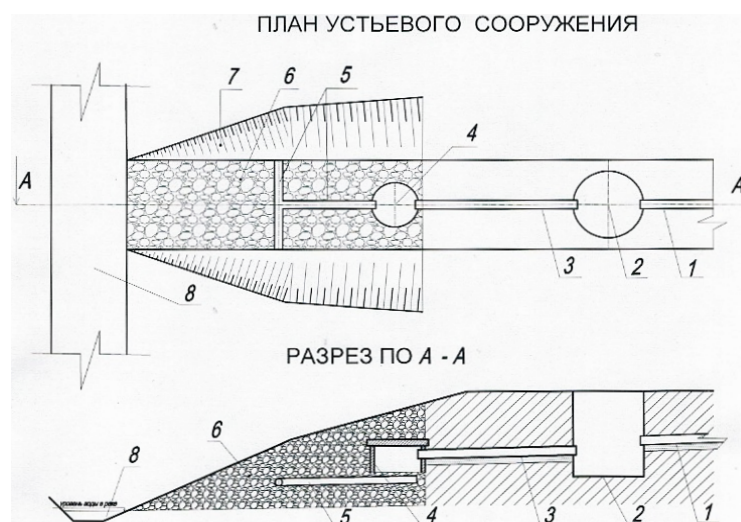


Рис. 2. Устьевое сооружение дренажной системы

- 1 – дренажная труба; 2 – дренажный колодец; 3 – устьевая труба; 4 – водоприемный колодец;
 5 – перфорированные дренажные трубы; 6 – щебеночная засыпка; 7 – сбросная траншея;
 8 – водоприемник (ручей)

Fig. 2. Mouth structure of the drainage system

- 1 – drainage pipe; 2 – drainage well; 3 – mouth pipe; 4 – water intake well; 5 – perforated drainage pipes;
 6 – crushed stone filling; 7 – discharge trench; 8 – water intake (stream)

в водоприемный колодец без дна. Далее вода просачивается через щебеночную обсыпку вглубь и заполняет все поры щебеночной обсыпки в пределах сбросной траншеи до уровня перфорированной сбросной трубы. После этого она попадает внутрь сбросной трубы через перфорацию и перетекает ближе к водоприемнику, далее фильтруется через оставшийся объем щебеночной обсыпки в водоприемник за счет разности отметок уровня сбросной трубы и уровня воды в водоприемнике.

Предложенная конструкция устья позволит повысить качество дренажных вод, сбрасываемых в водоприемник, за счет снижения скорости течения воды в щебеночной обсыпке, так как при этом взвешенные частицы будут выпадать в осадок. Кроме того, со временем на поверхности отдельных фракций щебня образуются зеленые водоросли, которые, поглощая растворенные в воде вещества, очищают ее.

Конструкция крепления поперечного сечения ручьев в местах выклинивания напорных грунтовых вод. Для дренажной системы ручьи являются водоприемником. Однако в естественном состоянии на данном объекте ручьи не могли

выполнять роль водоприемника ввиду их малой глубины и незначительного поперечного сечения. В связи с этим глубина ручьев была увеличена, поперечное сечение расширено и ему было придано трапециевидное сечение. Схема крепления поперечного сечения ручья дана на рисунке 3.

Чтобы не было обрушения откосов поперечного сечения ручьев, запроектировали крепление, которое включает в себя георешетку «Армогрит», заполненную в верхней части откосов растительным грунтом с подсевом трав, а в средней и нижней части – гранитным щебнем. На дно ручья был уложен бутовый камень, а все крепление опирается на песчаное основание, причем георешетка крепится к основанию металлическими штырями. Однако известная конструкция крепления [3, 10] поперечного сечения ручья не предназначена для перехвата напорных грунтовых вод. Поэтому чтобы не было провалов откосов по причине вымыва мелкозема в местах выклинивания напорных грунтовых вод, дополнительно устраивается щебеночная банкетка, обернутая в геотекстиль.

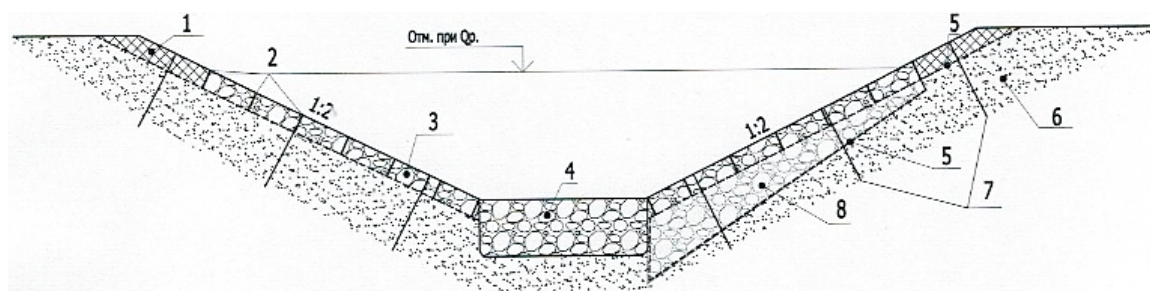


Рис. 3. Конструкция крепления поперечного сечения ручья

- 1 – георешётка «Армогрит» с засыпкой растительным грунтом и посевом трав; 2 – георешётка; 3 – гранитный щебень; 4 – дно ручья с укладкой бутового камня; 5 – геотекстиль; 6 – песчаное основание; 7 – металлические штыри (1 шт. на 1 м²); 8 – щебёночная банкетка

Fig. 3. The design of the cross-section fastening of the stream

- 1 – geogrid “Armogrit” with filling of topsoil and grass seeding; 2 – geogrid; 3 – granite crushed stone; 4 – stream bottom with rubble stone laying; 5 – geotextile; 6 – sand base; 7 – metal pins (1 pc. per 1 m²); 8 – crushed stone bench

Выводы

Анализ открытых источников показал, что в настоящее время отсутствуют необходимая конструкция устьевого сооружения дренажной системы и способ его строительства, которые бы отвечали требованиям экологической безопасности. В этой связи были разработаны конструкция и способ строительства устьевого сооружения дренажной системы, необходимые для нормальной работы дренажной системы и двух ручьев военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных Сил РФ «ПАТРИОТ».

Обзор источников информации показал, нет конструкции крепления поперечного сечения ручья, которая могла бы перехватывать напорные грунтовые воды, проявляющиеся в отдельных местах. Поэтому была разработана конструкция крепления поперечного сечения ручья, способная перехватывать напорные грунтовые воды, проявляющиеся в отдельных местах, и предотвращать обрушение откосов. Работа без сбоев (2015-2025 гг.) конструкции устьевого сооружения в дренажной системе и крепления поперечного сечения ручьев доказывает их хорошую работоспособность и адекватность разработанных технических решений.

Список используемых источников

1. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М.: Госстройиздат, 1967. 169с.
2. Голованов А.И. Мелиорация земель / А.И. Голованов И.П. Айдаров, М.С. Григоров и др. / под ред. А.И. Голованова: Учебник. СПб.: «Лань», 2015. 824 с.
3. Дубенок Н.Н. Гидромелиорация земель / Н.Н. Дубенок, О.А. Каблуков, В.В. Пчелкин, и др. / под ред. В.В. Пчелкина: Учебник. М.: Издательство ООО «Прспект», 2024. 336 С.
4. Патент № 2060970 Российская Федерация, МПК СО2F / Устьевое водоохранное сооружение/ Заявл.12.03.1993, Безднина С.Я., Куприянов О.И. опубликовано: 27.05.1996
5. Патент № 2654645 Российская Федерация. МПК В02В11. Способ строительства устья дренажной системы. / Пчелкин В.В., Ибрагим А.Т.М.; опублик. 21.05.2018, бюл. № 15.
6. Пчелкин В.В. Конструкции дренажа и метод расчета для подвалов глубокого заложения / В.В. Пчелкин, К.С. Семёнова // Природообустройство. 2024. № 4. С. 34-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-34-43>
7. Справочник: Мелиорация и водное хозяйство. Осуществление / Под редакцией академика РАСХН Б.С. Маслова. М.: «Ассоциация Эко», 2001. С. 365-368.
8. СП 104.13330.2016. СНиП2.06.15-85 «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления».
9. СП 100.13330.2016. СНиП2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения».
10. Крепления поперечных сечений осушительных каналов. <https://yandex.ru/images/search?lr=213&source=serp&stype=image&text=%D0%9A%D0%BE>.

Об авторах

Виктор Владимирович Пчелкин, д-р техн. наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственных мелиораций»; 9766793@mail.ru

Екатерина Александровна Попова, аспирант кафедры «Сельскохозяйственных мелиораций», 1176068; ORCID ID: 0000-0002-5281-4714; ResearcherID: AAE-6824-2022; kkk97@list.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Пчелкин В.В., Попова Е.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 / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 01.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 15.08.2025

References

1. Abramov S.K. Underground drains in industrial and urban construction. Moscow: Gosstroyizdat, 1967. 169 p.
2. Golovanov A.I., Aidarov I.P., Grigorov M.S. et al. Land reclamation /edited by A.I. Golovanov: Textbook. St. Petersburg: Lan, 2015. 824 p.
3. Dubenok N.N., Kablukov O.V., Pchelkina V.V., Semenova K.S. Hydro-land reclamation / edited by V.V. Pchelkin: Textbook. Moscow: Prospect Publishing House, 2024. 336 p.
4. Patent, No. 2060970 Russian Federation. estuarine water protection equipment. / Bezdina SYA., Kupriyanov O.I.; published on 05/27/1996.
5. Patent, No. 2654645 Russian Federation. The method of construction of the mouth of the drainage system. / Pchelkin V.V., Ibrahim A.T.M.; publ. 05/21/2018, bul. No. 15.
6. Pchelkin V.V., Semenova K.S. Drainage designs and calculation method for deep-laid basements. // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 4. P. 34-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-34-43>
7. Reference book: Land reclamation and water management Drainage/Edited by RAS academician B.S. Maslov. Moscow: "Association of Ecost", 2001. P. 365-368.
8. SP 104.13330.2016. SNiP2.06.15-85 "Engineering protection of territories from flooding and flooding".
9. SP 100.13330.2016. SNiP2.06.03-85 "Reclamation systems and facilities".
10. Fixing the cross-sections of the drainage channels. <https://yandex.ru/images/search?lr=213&source=serp&stype=image&text=%D0%9A%D0%BE>.

About the authors

Victor V. Pchelkin, DSs (Eng), professor of the department "Agricultural land reclamations", 9766793@mail.ru

Ekaterina A. Popova, post-graduate student of the department "Agricultural land reclamations", 1176068; ORCID ID: 0000-0002-5281-4714; ResearcherID: AAE-6824-2022; kkk97@list.ru 60C1

Pchelkin V.V., Popova E.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 they are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-34-42>

УДК: 631.6:631.311.51



ШИРОКОЗАХВАТНОЕ ДВУХОТВАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ОЧИСТКИ ОРОСИТЕЛЬНО-ОБВОДНИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

В.А. Волосухин¹, А.В. Михеев^{2✉}, Я.В. Волосухин³, А.В. Головкин⁴¹ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия² ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»; 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, Россия³ ИКЦ «Безопасность ГТС»; 346400, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 200 В, Россия⁴ ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»; 355035, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, Россия

Аннотация. Целью исследований являлось повышение водопропускной способности оросительно-обводнительных каналов путем создания широкозахватного двухотвального разравнивателя-дернореза. Выполнен анализ водопотребления в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах из оросительно-обводнительных каналов, рек и подземных источников, который показал, что более 40% водопотребления приходится на оросительные системы. Установлены основные причины снижения водопропускной способности оросительно-обводнительных каналов и способы борьбы с ними. Наиболее перспективным является механический способ очистки дна каналов. Выявлена периодичность очистки оросительно-обводнительных каналов, позволяющая снизить гидравлические сопротивления поперечного сечения канала и повысить водопропускную способность, с цикличностью проведения работ 4÷5 лет. Сформулированы основные требования к выбору параметров профиля поперечного сечения отвального рабочего органа разравнивателя-дернореза дна каналов, выполнение которых позволяет снизить сопротивление резанию донных отложений, дерна и растительности, перемещению их вверх по отвалу и перед ним в виде призмы волочения. Обоснованы основные геометрические параметры профиля поперечного сечения отвального рабочего органа разравнивателя-дернореза, а также углы резания и установки отвалов. Предложены общая компоновка широкозахватного разравнивателя-дернореза в виде двухотвального рабочего органа с опорными лыжами и способ перемещения его внутри канала, а также определены ширина захвата, угол захвата и длина отвалов для условий Право-Егорлыкского канала Ставропольского края.

Ключевые слова: водопропускная способность, оросительно-обводнительные каналы, донные отложения, зарастание, механический способ, профиль отвала, угол резания, разравниватель-дернорез

Формат цитирования: Волосухин В.А., Михеев А.В., Волосухин Я.В., Головкин А.В. Широкозахватное двухотвальное техническое средство очистки оросительно-обводнительных каналов // Природообустройство. 2025. № 4. С. 34-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-34-42>

Original article

WIDE-REACH TWO-DUMP TECHNICAL MEANS OF CLEANING IRRIGATION AND WATER SUPPLY CHANNELS

V.A. Volosukhin¹, A.V. Mikhayev^{2✉}, Ya.V. Volosukhin³, A.V. Golovko⁴¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trublin, Kalinin str., 13, 350044, Krasnodar² Platov South Russian State Polytechnical University (NPI), 132 Prosveshcheniya str., Novocherkassk, Rostov Region, 346428³ ICC "GTS Security", 346400 Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky ave. 200 V⁴ Stavropol State Agrarian University, 355035, Stavropol, per. Zootechnical, 12

Abstract. The purpose of the research was to increase the water transmission capacity of irrigation and water supply channels by creating a wide-reach two-dump leveler – turf cutter. An analysis of water consumption in the Southern and North Caucasus Federal Districts from irrigation and water supply channels, rivers and underground sources was performed, which showed that more than 40% of water consumption comes from the irrigation systems. The main reasons for the decrease in the water transmission capacity of irrigation and water supply channels and ways to combat them have been established. The most promising method is the mechanical method of cleaning the dana channels. The frequency of cleaning irrigation and water supply channels has been revealed, which makes it possible to reduce the hydraulic resistances of the channel cross-section and increase the water transmission capacity, with a work cycle

of 4-5 years. The basic requirements for the choice of parameters of the cross-sectional profile of the blade working body of the leveler, the channel bottom turf cutter are formulated, the implementation of which reduces the resistance to cutting sediments, turf and vegetation, moving them up the blade and in front of it in the form of a drawing prism. The basic geometric parameters of the cross-sectional profile of the dump working body of the leveler-turf cutter, as well as the angles of cutting and installing the dumps, are substantiated. A general layout of a wide-range leveler-turf cutter in the form of two dump working bodies with support skis and a method of moving it inside the channel is proposed, and the width of the grip, the angle of grip and the length of the dumps are determined for the conditions of the Pravo-Egorlyk channel of the Stavropol Territory.

Keywords: water transmission capacity, irrigation and water supply channels, bottom sediments, overgrowth, mechanical method, blade profile, cutting angle, leveler-turf cutter

Format of citation: Volosukhin V.A., Mikheev A.V., Volosukhin Ya.V., Golovko A.V. Wide-reach two-dump technical means of cleaning irrigation and water supply channels // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 34-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-34-42>

Введение. Повышение комфортного проживания населения Российской Федерации, а также обеспечение продовольственной безопасности и производственных нужд невозможны без водопотребления в необходимых и достаточных объемах. Для этих целей на территории РФ имеется протяженная и разветвленная сеть оросительно-обводнительных каналов.

В государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году» [1] приводятся данные по водопотреблению в РФ, а также по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам.

В 2023 г. показатель водных ресурсов речного стока в целом по Южному федеральному округу (ЮФО) и Северо-Кавказскому федеральному округу (СКФО) составил 306,5 км³/год. Среди источников водных ресурсов в 2023 г. преобладали поверхностные, забор воды из которых составил 25705,3 млн м³. В свою очередь, забор воды из подземных источников составил 1220,4 млн м³. Мощность оборотных систем водоснабжения в целом по данным федеральным округам составила 11418,7 млн м³. За 2023 г. объем использования пресной воды в ЮФО и СКФО составил 13656,8 млн м³. Из общего объема использования пресной воды наибольшую долю заняла вода, направленная на оросительные нужды (5555,9 млн м³) [1-3], что составляет 40,7%.

По данным Министерства сельского хозяйства РФ, протяженность магистральных оросительно-обводнительных каналов, находящихся в федеральной собственности в ЮФО и СКФО, составляет 30,614 тыс. км. Большинство из них является длительно эксплуатируемыми (более 50 лет) и выполненными в земляном русле. Аналогичная ситуация наблюдается с 3 тыс. км каналов межбассейновой переброски – такими, как Донской магистральный канал, магистральные каналы Кубань-Егорлыкской

и Кубань-Калаусской, Терско-Кумской оросительно-обводнительных систем.

За длительный период эксплуатации каналов на дне накопилось большое количество донных отложений, а также произошло зарастание поперечного сечения каналов различной растительностью. Особенно интенсивно происходит зарастание в последние годы в связи с климатическими изменениями. Тенденция роста температур на юге России в первой половине XXI в. – на 0,4...0,6 град. в 10 лет, а в вегетационный период – до +10°C, что ведет к более интенсивному зарастанию магистральных каналов [4]. Повышение температуры окружающего воздуха неизбежно приведет к росту водопотребления, особенно для нужд оросительных систем [5]. Все это требует увеличения водопропускной способности оросительно-обводнительных систем.

Для обеспечения необходимого водопотребления поддержание на высоком техническом уровне состояния оросительно-обводнительных каналов является одной из важнейших задач.

Цель исследований: повышение водопропускной способности оросительно-обводнительных каналов путем создания широкозахватного двухотвального разравнивателя-дернореза.

Материалы и методы исследований. Одной из важнейших проблем в эксплуатации оросительно-обводнительных каналов является накопление донных отложений и зарастание, особенно в летний период времени, каналов водорослями, камышом и другой растительностью (рис. 1), что приводит к снижению в пиковые периоды водопотребления пропускной способности каналов на 25 ÷ 35%.

Борьбу с зарастанием каналов проводят различными способами, среди которых можно выделить 3 основных [6-8]: химические, биологические и механические. Химические способы

основаны на применении различных гербицидов и других химических соединений, что неприемлемо для каналов, обеспечивающих водоснабжение населенных пунктов, и мелиоративных каналов, особенно в период водозабора для оросительных систем. Биологические способы заключаются в разведении травоядных рыб (белый амур, толстолобик) и животных (ондатры, нутрии), но большая часть оросительных каналов в зимний период обезвоживается, что приводит к гибели рыб и животных. К биологическим способам можно отнести затенение водоема путем посадки деревьев по бермам канала, что не представляется возможным при ширине канала более 15 м и значительной протяженности оросительно-обводнительного канала.

Наиболее целесообразным является механический способ, заключающийся чаще в скашивании растений.

Применение специальных каналоокашивающих машин не обеспечивает надлежащего ухода за дном каналов. Основными недостатками существующих машин по уходу за каналами являются [7, 9-13]: небольшая глубина очищаемых каналов (до 2 м); малая ширина захвата (до 2,5 м), что требует большого количества проходов по дну канала; для работы машин требуется снижение уровня или обезвоживание канала. Плавающие косилки не обеспечивают необходимую высоту среза растительности, максимальная рабочая глубина – не более 1,8 м. Вышеуказанные недостатки существенно ограничивают применение рассмотренных машин и исключают их использование для очистки магистральных оросительно-обводнительных каналов. К аналогичным выводам пришли такие ученые, как

Ф.К. Абдразаков [6, 7, 10], А.А. Коршиков [9], которые внесли значительный вклад в разработку технологий и средств механизации для очистки оросительно-обводнительных каналов.

Одним из способов очистки дна каналов может быть применение плавучих землесосных установок. Но они имеют очень высокую стоимость и сложности с перебазированием на другие каналы, используются только сезонно, что требует больших издержек в их эксплуатации [7, 14]. В связи с этим службами эксплуатации не приобретается специализированная техника, а очистка осуществляется более простым и дешевым оборудованием собственной разработки. Так, очистку дна каналов шириной 6 м и более производят гусеничной цепью трактора (рис. 2), которую закрепляют тросами к двум тягачам, перемещающимся синхронно по бермам канала. Для повышения планирующей способности данного устройства закрепляют утяжеляющий груз.

Выполненные таким образом работы по очистке дна каналов исключают развитие растительности на период до 4 лет. Если проводить работы по очистке и планированию дна каналов специализированным оборудованием, разработанным для данного вида работ, то можно увеличить периодичность очистки до 5 лет и значительно снизить гидравлическое сопротивление поперечного сечения каналов, что увеличит пропускную способность.

Полученные данные по периодичности очистки каналов согласуются с результатами исследований Н.С. Севрюгиной, А.Ю. Фомина, А.С. Апатенко [15], которые пришли к выводу о том, что очистку русла рек, озер и прудов необходимо проводить раз в 5 лет.



Рис. 1. Зарастание канала

Fig. 1. Overgrowth of the canal



Рис. 2. Разравниватель гусеничного типа

Fig. 2. Caterpillar type leveler

Результаты и их обсуждение. На основании выполненного анализа сделаны выводы о том, что наиболее перспективным является разработка двухотвального широкозахватного разравнивателя-дернореза для очистки дна каналов за один проход при условии проведения работ без обезвоживания каналов. Разравниватель-дернорез выполняет срезание донных отложений, корневой системы растений (дерн) и водорослей, а также обеспечивает транспортировку срезанной массы к откосам канала. Перемещают устройство 2 тягача, расположенные на бармах канала, к которым с помощью тросов крепится предлагаемый рабочий орган. Затем срезанную массу убирают с помощью одноковшового экскаватора, оборудованного специальным ковшом.

Наблюдения и исследования проводились на Право-Егорлыкском канале Ставропольского края. Данный канал имеет следующие параметры: ширина по верху – $30 \div 40$ м; ширина по дну – 16 м; толщина слоя воды – $2,5 \div 3,5$ м; глубина канала – $5 \div 7$ м; заложение откосов – $0,75 \div 1$.

Отвалы пассивных рабочих органов имеют в зависимости от геометрической формы следующие типы [7, 10, 16-18]: с постоянным радиусом кривизны R , с большей кривизной вверху и с большей кривизной внизу. Наилучшие показатели при выполнении планировочных работ и разравнивания грунта имеют отвалы с постоянным радиусом кривизны. Соответственно для рассматриваемого случая можно принять форму отвала с постоянным радиусом кривизны.

Основные параметры профиля поперечного сечения отвального рабочего органа определяют его конструктивные и технологические характеристики. От типа профиля поперечного сечения зависят расположение и процесс срезания грунта отвалом, а также дальнейшее перемещение грунта вверх и вдоль по отвалу.

К основным геометрическим параметрам профиля поперечного сечения отвала

относятся (рис. 3): форма отвала, которая зависит от радиуса кривизны R ; рабочая высота отвала H_p , представляющая собой сумму высоты криволинейной части отвала и ножа, измеренную от срезанной поверхности грунта до крайней верхней точки отвала, с учетом того, что отвал имеет соответствующий угол наклона ε .

Угол наклона отвала по режущей кромке ножа ε измеряют как угол между нормалью к разрабатываемой поверхности и линией, проходящей через кромку ножа и верхнюю точку криволинейной части отвала. Угол наклона отвала определяет пространственное положение рабочего органа и имеет существенное влияние на процесс перемещения грунта вверх по отвалу.

При перемещении грунта вверх по отвалу грунт должен опрокидываться впереди отвала, а не пересыпаться через него. Для исключения пересыпания грунта через отвал назначают величину угла опрокидывания ϕ_o . Угол опрокидывания определяют между вертикалью и касательной, проведенных в верхней точке рабочей

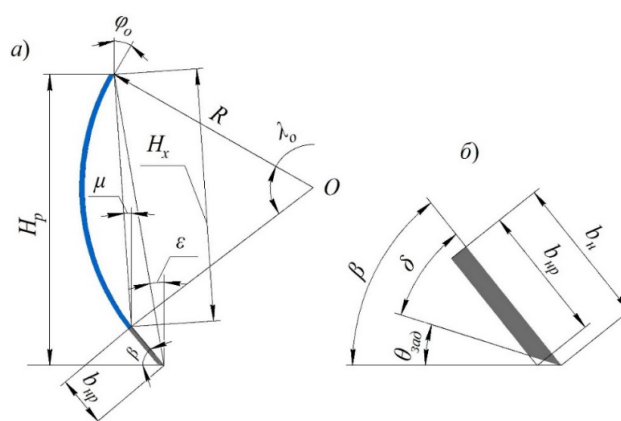


Рис. 3. Профиль поперечного сечения отвала:

а – поперечное сечение отвала;

б – углы установки ножа

Fig. 3. Cross-section profile of the blade

а – the cross section of the blade;

b – the angles of installation of the knife

поверхности отвала. С увеличением угла опрокидывания ϕ_0 повышается сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу, но исключается пересыпание его через отвал. Уменьшение угла опрокидывания может привести к пересыпанию грунта через отвал. При этом снижается сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу, а при значении 60° отсутствует скольжение грунта (залипание), и грунт накапливается перед отвалом, что значительно повышает сопротивление перемещению рабочего органа. Исходя из этого, угол опрокидывания ϕ_0 назначают в пределах $15^\circ \div 30^\circ$ [7, 10, 16-18].

Важнейшим параметром, определяющим процесс отделения грунта от массива, является угол резания β . Угол резания представляет собой угол между срезанной поверхностью грунта и передней поверхностью ножа. Правильно выбранный угол резания обеспечивает минимальное сопротивление копанию грунта отвалом. При выборе угла резания необходимо учитывать, что с увеличением угла резания ухудшается условие скольжения грунта по рабочей поверхности ножа и отвала, что обуславливает возникновение залипания грунта на рабочей поверхности отвала и увеличение объема призмы волочения. Уменьшение угла резания β также ухудшает условие скольжения грунта по отвалу: грунт прекращает перемещаться вверх по отвалу, и в призме волочения возникают зоны застоя грунта.

Таким образом, отклонение угла резания от оптимальных значений приводит к повышению сопротивления копанию грунта отвальным рабочим органом. Для отвальных рабочих органов оптимальный угол резания находится в пределах $50^\circ \div 55^\circ$ [7, 10, 16-18].

Для исключения трения тыльной части ножа о грунт, а также для отсутствия касания ее с релаксированным грунтом после деформации его ножом задаются задним углом $\theta_{зад}$, который представляет угол между линией резания грунта и задней поверхностью ножа.

Ранее рассмотренные углы поперечного профиля отвала являются определяющими для снижения сопротивления копания грунта отвальным рабочим органом. Они взаимосвязаны с углом резания и изменяют свое значение при корректировке угла резания ножа.

Не менее важное значение имеет угол заострения ножа δ , так как влияет на сопротивление резания грунта. Это угол между передней и задней рабочими поверхностями ножа. Угол заострения выбирают из условия прочности и снижения износа режущей кромки ножа в пределах $\delta = 25^\circ \div 30^\circ$.

При определении основных параметров профиля отвала рассматривают еще ряд углов, которые являются производными от ранее рассмотренных.

Центральный угол профиля отвала λ_0 является центральным углом криволинейной части отвала и зависит от радиуса кривизны и рабочей высоты отвала. Его значение составляет: $\lambda_0 = 60^\circ \div 80^\circ$ [7, 10, 16-18].

Угол отклонения хорды профиля отвала μ от вертикальной плоскости также определяет пространственное положение профиля отвала и используется для расчета основных параметров отвала. Он строго связан с углом наклона отвала по режущей кромке ножа ϵ и, соответственно, с углом резания ножа β и опрокидывания отвала ϕ_0 . Его определяют как угол между вертикалью и линией, проходящей через верхнюю и нижнюю точки криволинейной части отвала.

Следующими геометрическими параметрами, определяющими размеры отвала, являются высота отвала по хорде H_x и ширина ножа b_n .

Высота отвала по хорде H_x представляет собой длину хорды, соединяющей верхнюю и нижнюю точки криволинейной части отвала. Данный размер определяет высоту криволинейной части отвала без учета угла наклона профиля отвала от вертикальной плоскости μ и обосновывает параметры заготовки, из которой будет выполнена криволинейная часть отвала.

Ширину ножа b_n устанавливают, как правило, исходя из параметров ножей, серийно выпускаемых для других аналогичных рабочих органов (бульдозеры, автогрейдеры, кавальеро-разравниватели, планировщики и др.). Ширина ножа, а также его толщина и материал влияют на прочностные характеристики и износостойкость ножа. Для определения основных параметров профиля отвала находят расчетную ширину ножа b_{np} по тыльной плоскости, которая зависит от толщины ножа и угла заострения δ .

На основании выполненного анализа можно сформулировать требования к определению основных параметров профиля поперечного сечения отвала разравнивателя-дернореза дна каналов:

1. Углы установки отвала должны обеспечивать наименьшее сопротивление резанию грунта.
2. При перемещении грунта вверх по всему профилю отвала необходимо обеспечить соблюдение условия скольжения.
3. Форма профиля и углы установки должны исключать пересыпание грунта через отвал в процессе работы.

При определении параметров профиля отвала необходимо учитывать, что очистку дна каналов предлагаемым разравнивателем-дернорезом можно выполнять как при заполненном поперечном сечении канала, так и при обезвоженном его состоянии. Следовательно, резание донных отложений и дерна на дне канала происходит при наличии воды на рабочей поверхности профиля отвала, что существенно уменьшает трение грунта об отвал и улучшает условия скольжения его при перемещении вверх по отвалу. В связи с этим предлагается определить основные параметры профиля отвала следующим образом.

Одним из важнейших параметров профиля отвала является его рабочая высота H_p , определяемая тягово-сцепными и мощностными показателями базовой машины, с которой агрегатируется отвал, объемом призмы волочения, формирующейся перед отвалом, и физико-механическими характеристиками разрабатываемых отложений и дерна на дне каналов. В качестве базовой машины, перемещающей разравниватель-дернорез для удаления донных отложений и растительности на дне каналов, рекомендуется использовать бульдозер Б-10М, который имеет дизельный двигатель марки ЯМЗ 236НЕ-51 мощностью $N_{дв} = 132$ кВт. Рабочую высоту отвала H_p рассчитываем по формуле:

$$H_p = (0,19 \div 0,21) k_d \sqrt[3]{N_{дв}}, \quad (1)$$

где k_d – коэффициент динамичности нагрузки; $k_d = 0,8 \div 0,9$.

Угол резания на основании ранее проведенного анализа можно задать равным $\beta = 55^\circ$.

Угол заострения ножа назначается на основании результатов исследований многих авторов [7, 10, 16-18] в пределах $\delta = 25^\circ \div 30^\circ$; для разравнивателя-дернореза принимаем $\delta = 30^\circ$. Следовательно, задний угол $\theta_{зад}$ составит:

$$\theta_{зад} = \beta - \delta. \quad (2)$$

Центральный угол профиля отвала для рассматриваемого случая принимаем как $\lambda_o = 62,6^\circ$.

На основании вышесказанного можно определить угол опрокидывания отвала по известной зависимости [7, 10, 16-18]:

$$\phi_o = \beta + \lambda_o - 90^\circ. \quad (3)$$

В качестве режущего элемента отвалов разравнивателя-дернореза используется серийно выпускаемый нож автогрейдера ГС-14.02, имеющий следующие габаритные размеры: длина $l_n = 1820$ мм; ширина $b_n = 180$ мм; толщина $t_n = 12$ мм; материал – сталь 65Г.

Расчетную ширину ножа b_{np} по тыльной плоскости найдем как

$$b_{np} = b_n - \frac{t_n}{\tan \beta}, \text{ мм.} \quad (4)$$

Радиус отвала с постоянной кривизной R находим по известной формуле [7, 10, 16-18]:

$$R = \frac{H_p - b_{np} \sin \beta}{2 \sin[0,5(90^\circ + \phi_o - \beta)] \cos[0,5(90^\circ - (\phi_o + \beta))]}, \text{ мм.} \quad (5)$$

Остальные параметры профиля отвала рассчитываем по зависимостям, установленным различными авторами [7, 10, 16-18]:

– угол отклонения хорды профиля отвала μ от вертикальной плоскости –

$$\mu = 0,5[90^\circ - (\phi_o + \beta)], \quad (6)$$

– конструктивная высота отвала по хорде H_x –

$$H_x = \frac{H_p - b_n \sin \beta}{\cos \mu}, \text{ мм;} \quad (7)$$

– угол наклона отвала по режущей кромке ножа ε –

$$\varepsilon = \arctan \left[\frac{H_x \sin \mu + b_n \cos \beta}{H_p} \right]. \quad (8)$$

Не меньшее значение для эффективной работы разравнивателя-дернореза имеют ширина захвата B_z , угол захвата α и длина отвалов L (рис. 4).

Ширину захвата разравнивателя-дернореза принимаем, исходя из основных параметров Право-Егорлыкского канала и на основании консультаций со специалистами, занимающимися эксплуатацией канала: $B_z = 12$ м.

Угол захвата α является критическим параметром, оказывающим существенное влияние на сопротивление перемещения разравнивателя-дернореза. При выборе угла захвата необходимо соблюдать условие скольжения грунта вдоль отвалов [7, 10, 16-18]:

$$\alpha \leq 90^\circ - \psi_s,$$

где ψ_s – угол внутреннего трения грунта.

Меньшие значения угла захвата способствуют улучшению процесса скольжения грунта вдоль отвалов, но при этом возрастает длина отвалов при заданной ширине захвата B_z , что приводит к увеличению массы разравнивателя-дернореза, и как следствие – к повышению сопротивления перемещению.

Увеличение угла захвата приводит к возрастанию сопротивления перемещению разравнивателя-дернореза и появлению залипания грунта на поверхности отвала. По этой причине

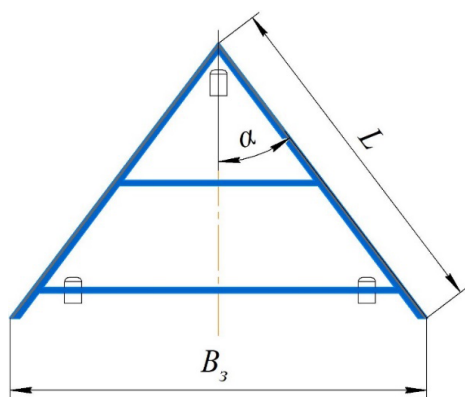


Рис. 4. Схема разравнивателя-дернореза (вид сверху)

Fig. 4. The scheme of the leveler-turf cutter view from the top

образовывается застой грунта перед отвалами, и перемещение призмы волочения грунта вдоль отвалов может прекратиться. По результатам исследований [7, 10, 16-18] установлено, что для донных отложений с наличием корневой системы растений (дерн) угол захвата отвалов должен составлять $\alpha = 30^\circ \div 45^\circ$. В связи с этим принимаем угол захвата отвалов разравнивателя-дернореза в рабочем положении как $\alpha = 37,26^\circ$.

Длину одного отвала разравнивателя-дернореза можно определить как

$$L = \frac{0,5B_3}{\sin \alpha}, \text{ мм.} \quad (9)$$

Основные параметры широкозахватного разравнивателя-дернореза для очистки донных отложений, дерна и водорослей в Право-Егорлыкском канале Ставропольского края представлены в таблице.

Для минимизации негативных последствий механической очистки на экосистему каналов и исключения разрушения ножами отвалов основания дна каналов, особенно со стабилизированными откосами и дном или облицованными каналами, в конструкции разравнивателя-дернореза предусмотрены опорные лыжи, позволяющие исключить прямой контакт ножей с основанием канала или облицовкой. Для этого лыжи снабжены системой регулирования срезаемого слоя донных отложений.

На основании полученных результатов планируются исследования по разработке автоматизированной системы управления рабочим оборудованием при выполнении технологических процессов и изменении водопрпускной способности каналов после очистки.

Таблица. Основные параметры разравнивателя-дёрнореза для очистки дна каналов

Table. Main parameters of the leveler-turf cutter for cleaning the bottom of the channels

Параметр Parameter	Обозначение Designation	Величина Value
Угол резания ножа, град / Blade cutting angle, degree	β	55°
Угол заострения, град / Angle of sharpening, degree	δ	30°
Задний угол, град / Clearance angle, degree	$\theta_{\text{зад}}$	25°
Угол заострения, град / Angle of sharpening, degree		
Центральный угол профиля отвала, град Central angle of blade profile, degree	λ_o	$62,6^\circ$
Угол опрокидывания, град / Tipping angle, degree	ϕ_o	$27,6^\circ$
Рабочая высота отвала, мм / Working height of blade, mm	H_p	800
Длина ножа, мм / Blade length, mm	l_n	1820
Ширина ножа, мм / Blade width, mm	b_n	180
Толщина ножа, мм / Blade thickness, mm	t_n	12
Радиус отвала, мм / Blade radius, mm	R	636
Угол отклонения хорды профиля отвала от вертикальной плоскости, град Angle of deviation of the blade profile chord from the vertical plane, degree	μ	$3,7^\circ$
Конструктивная высота отвала по хорде, мм Structural height of the dump along the chord, mm	H_x	660,8
Угол наклона отвала по режущей кромке ножа, град Blade tilt angle along the cutting edge of the knife, degrees	ε	10°
Ширина захвата устройства, мм / Range width of the device, mm	B_3	12000
Угол захвата в рабочем положении, град Capture angle in the working position, degree	α	37,26
Длина одного отвала, мм / Length of one dump, mm	L	9910

Выводы

Представлен аналитический обзор водопотребления в ЮФО и СКФО из оросительно-обводнительных каналов, рек и подземных источников, который показал, что более 40% водопотребления приходится на оросительные системы.

Установлены основные причины снижения водопрпускной способности оросительно-обводнительных каналов и способы борьбы с ними. Наиболее перспективным является механический способ очистки дна каналов, но существующие машины и оборудование не обладают необходимой эффективностью и производительностью.

Выявлена периодичность очистки оросительно-обводнительных каналов, позволяющая снизить гидравлические сопротивления поперечного сечения канала и повысить водопрпускную способность с цикличностью проведения работ $4 \div 5$ лет.

Список использованных источников

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. М.: Минприроды России, 2024. 707 с.
2. Информационно-аналитические материалы о режимах работы водохранилищ, 2022 г.: Федеральное агентство водных ресурсов, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов». Новочеркасск: Лик, 2023. 484 с.
3. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ), 2025. 135 с.
5. Шевченко В.А. Комплексная мелиорация – основа технологического обеспечения продовольственной безопасности и сохранения плодородия почв / В.А. Шевченко, Л.В. Кирейчева // Природообустройство. 2025. № 1. С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-6-12>
6. Абдразаков Ф.К. Состояние оросительных каналов Саратовского Поволжья и пути повышения их эффективности / Ф.К. Абдразаков, К.И. Чуркина // Аграрный научный журнал, 2020, № 4, С. 68-70. EDN: KMSNXL
7. Абдразаков Ф.К. Ресурсосберегающие технологии и машины для интенсификации мелиоративного производства: монография. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. 2019. 164 с. EDN: PARGMX
8. Ерохина К.К. Причины загрязнения водоемов и новый способ очистки с помощью бактерий / К.К. Ерохина, Ю.С. Шабалина, Ю.А. Головина / Материалы V Международного молодежного экологического форума. Материалы форума. Под редакцией Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартена. Кемерово: 2021. С. 405-5.
9. Коршиков А.А. Режущие аппараты мелиоративных косилок (теория, конструкция, расчёт) // Новочеркасск: ФГБОУ ВО Новочеркасская государственная мелиоративная академия. 2007. 154 с.

Сформулированы основные требования к выбору параметров профиля поперечного сечения отвального рабочего органа разравнивателя-дернореза дна каналов. Их выполнение позволяет снизить сопротивление резанию донных отложений, дерна и растительности, перемещению их вверх по отвалу и перед ним в виде призм волочения.

Обоснованы основные геометрические параметры профиля поперечного сечения отвального рабочего органа разравнивателя-дернореза, а также углы резания и установки отвалов.

Предложены общая компоновка широкозахватного разравнивателя-дернореза в виде двухотвального рабочего органа с опорными лыжами и способ перемещения его внутри канала, а также определены ширина захвата, угол захвата и длина отвалов для условий Право-Егорлыкского канала Ставропольского края.

References

1. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2023. Draft State Report. Moscow: Ministry of Natural Resources of the Russian Federation; Intellectual Analytics LLC; Federal State Budgetary Institution NTP Directorate; Foundation for Ecology and International Technological Cooperation, 2024. 707 p.
2. Information and analytical materials on the modes of operation of water storage facilities, 2022: Federal Agency for Water Resources, Federal State Budgetary Institution "Russian Scientific Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources". Novo-cherkassk: Lik, 2023. 484 p.
3. Land reclamation complex of the Russian Federation: inform. edition. M.: FSBI "Rosinformagrotech", 2020. – 304 p.
4. Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2024. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET), 2025. 135 p.
5. V.A. Shevchenko, Integrated land reclamation – the basis of technological food security and soil fertility preservation / V.A. Shevchenko, L.V. Kireicheva // Prirodoobustrojstvo. 2025. No. 1. P. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-6-12>
6. Abdrazakov F.K. The state of irrigation canals in the Saratov Volga region and ways to increase their efficiency / F.K. Abdrazakov, K.I. Churkina // Agrarian Scientific Journal, 2020, No. 4, P. 68-70. EDN: KMSNXL
7. Abdrazakov F.K. Resource-saving technologies and machines for the intensification of meliorative production (scientific monograph) // Saratov State University Agricultural University named after N.I. Vavilov. – Saratov, 2019. 164 p. EDN: PARGMX
8. Erokhina K.K. Causes of pollution of reservoirs and a new method of purification using bacteria / K.K. Erokhina Yu.S. Shabalina, Yu.A. Golovina / Proceedings of the V International Youth Environmental Forum. Forum materials. Edited by T.V. Galanina, M.I. Baumgarten. Kemerovo, 2021. P. 405-1-405-5
9. Korshikov A.A. Cutting devices of reclamation mowers (theory, design, calculation) // Novocherkassk State Land Reclamation Academy. Novocherkassk, 2007. 154 p.

10. Абдразаков Ф.К. Исследование процесса взаимодействия с грунтом криволинейных лопаток фронтальной фрезы мелиоративных экскаваторов / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров // Научное обозрение, 2017, № 21, С. 75-78.

11. Абдулмажидов Х.А. Очистка мелиоративных каналов как средство поддержания урожайности сельскохозяйственного поля // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 105-13. С. 137-139. EDN: TQADVU

12. Тойгамбаев С.К. Выбор типов рабочих органов мелиоративных машин для очистки каналов / С.К. Тойгамбаев, Х.А. Абдулмажидов // Сельский механизатор. 2024. № 6. С. 28-30. DOI: 10.47336/0131-7393-2024-6-28-29-30

13. Абдулмажидов Х.А. Использование теории графов при формировании оптимальных комплексов мелиоративных каналоочистительных машин / Х.А. Абдулмажидов, В.И. Балабанов, Н.Б. Мартынова // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 169-185. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-169-185>

14. Сметанин В.И. Очистка и дноуглубление русел рек // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 4. С. 12-17. EDN: VUZURX

15. Севрюгина Н.С. Коллаборативные роботизированные средства экологического оздоровления водных объектов / Н.С. Севрюгина, А.Ю. Фомин, А.С. Апатенко // Природообустройство. 2024. № 5. С. 14-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-14-20>

16. Абдразаков Ф.К. Полевые исследования машин для очистки мелиоративных каналов и водоемов противопожарного назначения от древесно-кустарниковой растительности / Ф.К. Абдразаков, Д.А. Соловьев, Д.Г. Горюнов, С.А. Анисимов // Аграрный научный журнал. 2014. № 12, С. 51-55. EDN: TBUMVB

17. Дианов Х.А. Анализ развития рабочих органов отвалного типа землеройно-транспортных машин / Х.А. Дианов, Ш.А. Умаров, К.В. Гончар // Транспортное строительство. Сборник статей всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2020. С. 161-172. EDN: IPGMDA

18. Баловнев В.И. Землеройные орудия и машины в дорожном строительстве / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов // Строительные и дорожные машины. 2018. № 9. С. 28-36. EDN: VPRENY

10. Abdrazakov F.K. Investigation of the interaction process with the soil of curved blades of a frontal milling cutter of reclamation excavators / F.K. Abdrazakov, A.V. Povarov // Scientific Review, 2017, No. 21, P. 75-78.

11. Abdulmazhidov Kh.A. Cleaning of reclamation channels as a means of maintaining agricultural field productivity // Trends in the development of science and education. 2024. No. 105-13. P. 137-139. EDN: TQADVU

12. Toygambayev S.K. The choice of types of working bodies of reclamation machines for cleaning channels / S.K. Toygambayev Kh.A. Abdulmazhidov // Rural mechanizer. 2024. No. 6. P. 28-30. DOI: 10.47336/0131-7393-2024-6-28-29-30.

13. Abdulmazhidov Kh.A. The use of graph theory in the formation of optimal complexes of reclamation channel cleaning machines / Kh.A. Abdulmazhidov, V.I. Balabanov, N.B. Martynova // Land reclamation and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12, No. 4. P. 169-185. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-169-185>

14. Smetanin V.I. Cleaning and dredging of riverbeds // Melioration and water management. 2022. No. 4. P. 12-17. EDN: VUZURX

15. Sevryugina N.S. Collaborative robotic means of ecological rehabilitation of water bodies / N.S. Sevryugina A.Yu. Fomin, A.S. Apatenko // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 5. P. 14-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-14-20>

16. Abdrazakov F.K. Field studies of machines for cleaning reclamation channels and fire-fighting watercourses from woody and shrubby vegetation / F.K. Abdrazakov, D.A. Solovyov, D.G. Goryunov, S.A. Anisimov // Agrarian Scientific Journal, 2014, No. 12, P. 51-55. C. 51-55. EDN: TBUMVB

17. Dianov Kh.A. Analysis of the development of dump-type working bodies of earthmoving and transport machines / Kh.A. Dianov Sh.A. Umarov, K.V. Gonchar // Transport construction. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Moscow, 2020. P. 161-172. EDN: IPGMDA

18. Balovnev V.I. Earthmoving tools and machines in road construction / V.I. Balovnev, R.G. Danilov // Construction and road machinery. 2018. No. 9. P. 28-36. EDN: VPRENY

Об авторах

Виктор Алексеевич Волосухин, д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, эксперт РАН, директор Института безопасности ГТС, AuthorID: 290467; <https://orcid.org/0000-0001-9029-7802>; director@ibgts.ru

Александр Васильевич Михеев, канд. техн. наук, доцент, AuthorID: 761810; <https://orcid.org/0000-0003-2846-2437>; avmich@mail.ru

Яков Викторович Волосухин, генеральный директор ИКЦ «Безопасность ГТС», AuthorID: 518466; safety@ibgts.ru

Антон Витальевич Головки, студент, 907900@bk.ru

About the authors

Viktor A. Volosukhin, DSs (Tech), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Expert of the Russian Academy of Sciences, Director of the GTS Security Institute, AuthorID: 290467; <https://orcid.org/0000-0001-9029-7802>; director@ibgts.ru

Alexander V. Mikheev, CSs (Tech), Associate Professor, AuthorID: 761810; <https://orcid.org/0000-0003-2846-2437>; avmich@mail.ru

Yakov V. Volosukhin, General Director of the ICC "GTS Security", AuthorID: 518466; safety@ibgts.ru.

Anton V. Golovko, student, 907900@bk.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Волосухин В.А., Михеев А.В., Волосухин Я.В., Головки А.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 23.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.08.2025

Volosukhin V.A., Mikheev A.V., Volosukhin Ya.V., Golovko A.V. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-43-50>

УДК 633.34



РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ УБОРКИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СОИ НА ОРОШЕНИИ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

М.С. Садаев^{1✉}, М.Е. Бельшкينا², М.Г. Загоруйко²¹ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологий и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, Россия² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия

Аннотация. В статье освещаются вопросы особенностей технологии возделывания сои (*Glycine hispida* L.). Соя в начальной фазе роста и развития может переносить умеренную засуху, однако к началу цветения и образованию плодов чувствительность сои к влаге значительно возрастает. Возделывание сои на орошении способствует повышению урожайности и качества семян. При возделывании сои важное значение имеет обработка почвы, что позволяет регулировать ее водно-воздушный баланс и механические свойства. Норма высева определяется для каждого сорта и варьируется от 500 до 800 тыс. растений на 1 га. Ранние сорта высевают с нормой 700-800 тыс. шт./га, среднеспелые – с нормой 500-600 тыс. шт./га, позднеспелые – 400-500 тыс. шт./га. При возделывании на орошении норма высева увеличивается на 25-30%. Полив производится фронтальными, круговыми, дождевальными машинами, барабанными или двухконсольными установками. Данный тип машин относительно капельного полива имеет ряд преимуществ: машины обеспечивают более точное и равномерное распределение воды, имеют возможность равномерного и точного внесения удобрений, а также более долгий срок службы. В условиях Нижнего Поволжья биологическая спелость сои наступает в сентябре. Для сои требуется использовать жатки Флех с гибким режущим аппаратом. Данный тип жатки позволяет достичь минимальной высоты среза на уровне 36 см за счет автоматического копирования рельефа поля. Потери за жаткой типа Флех составляют 2,12,4%, при этом за обычной жаткой могут достигать до 12-15%. Для оценки правильности настройки зерноочистительного комплекса осуществляется контроль показателя полноты разделения зерновой массы сои и потери полноценного зерна в отходах.

Ключевые слова: соя (*Glycine hispida* L.), технология возделывания, орошение

Формат цитирования: Садаев М.С., Бельшкينا М.Е., Загоруйко М.Г. Регулирование водного режима и технологических приемов уборки при возделывании сои на орошении в условиях Нижнего Поволжья // Природообустройство. 2025. № 4. С. 43-50. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-43-50>

Scientific article

REGULATION OF THE WATER REGIME AND TECHNOLOGICAL METHODS OF HARVESTING DURING SOYBEAN CULTIVATION ON IRRIGATION IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

M.S. Sadaev^{1✉}, M.E. Belyshkina², M.G. Zagoruiko²¹ Saratov state university of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, prospect named after Petr Stolypin, bld. 4, constr. 3, Russia² Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia

Abstract. The article highlights the specifics of soybean cultivation technology (*Glycine hispida* L.). Soybeans in the initial phase of growth and development can tolerate moderate drought, however, by the beginning of flowering and fruit formation, the sensitivity of soybeans to moisture increases significantly. Soybean cultivation by irrigation helps to increase the yield and quality of seeds. When cultivating soybeans, soil tillage is important, which makes it possible to regulate its water-air balance and mechanical properties. The seeding rate is determined for each variety and varies from 500 to 800 thousand plants per hectare. Early varieties are sown at a rate of 700-800 thousand units / ha, medium-ripened – 500-600 thousand units / ha, late-ripening – 400-500 thousand units / ha. When cultivated by irrigation, the seeding rate increases by 25-30%. Irrigation is carried out by frontal, circular, sprinkler machines, drum or double-column

installations. This type of drip irrigation machines has a number of advantages, the machines provide a more accurate and uniform distribution of water, have the ability to apply fertilizers evenly and accurately, and have a longer service life. In the conditions of the Lower Volga region, the biological ripeness of soybeans occurs in September. For soybeans, it is required to use Flex harvesters with a flexible cutting machine. This type of harvester allows you to achieve a minimum cutting height of 3-6 cm by automatically copying the field relief. Losses for a Flex-type header amount to 2.1-2.4%, while for a conventional one they can reach up to 12-15%. To assess the correct configuration of the grain cleaning complex, the indicator of the completeness of the separation of the soybean grain mass and the loss of full-fledged grain in the waste is monitored.

Keywords: soybeans (*Glycine hispida* L.), cultivation technology, irrigation

Format of citation: Sadaev M.S., Belyshkina M.E., Zagoruiko M.G. Regulation of the water regime and technological methods of harvesting during soybean cultivation on irrigation in the conditions of the Lower Volga region // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 43-50. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-43-50>

Введение. Соя является требовательной культурой к соблюдению агротехнических приемов в период вегетации. Нарушение технологии возделывания может привести к снижению урожайности и сбора белка. Возделывание сои на орошении способствует повышению урожайности и качества семян. Соя в начальной фазе роста и развития может переносить умеренную засуху, однако к началу цветения и образованию плодов чувствительность сои к влаге значительно возрастает. В развитии растений сои можно выделить три основных межфазных периода: до цветения, цветение – начало образования плодов, рост плодов – созревание. На втором этапе цветения – начала образования плодов необходим строгий контроль за влагообеспеченностью посевов сои. Техническое обеспечение при выращивании сои включает в себя комплекс средств механизации, который обеспечивает оптимальное соблюдение технологии возделывания, гарантирующей высокую урожайность и качество продукции.

При возделывании сои важное значение имеет обработка почвы, что позволяет регулировать ее водно-воздушный баланс и механические свойства. На формирование 1 т семян сои требуется 77-100 кг азота, 17-30 кг фосфора, 32-40 кг/га калия [1]. Внесение минеральных удобрений производится под зяблевую вспашку, в осеннюю обработку вносят фосфорные удобрения в пропорции 2/3 от нормы и калийные удобрения в полном количестве. При этом обработка почвы на 20% является фактором, влияющим на формирование урожая [2]. Время обработки зависит от сроков уборки предшественника. Если предшественником является зерновая культура, следует провести лущение и вспашку один или два раза в зависимости от последующего появления сорняков [3]. Весенняя обработка должна обеспечивать для сои мелкокомковатое сложение почвы и формирование семенного ложа на глубине заделки семян 6-8 см и включает в себя

боронование в 1-2 следа. При этом в случае большого количества сорняков проводят предпосевную культивацию: первую – на глубину 6-8 см, вторую – на глубину 3-5 см [4].

Усвоение азота происходит неравномерно и зависит от фазы развития растения. До начала цветения соя усваивает только 7-10% от общей потребности в азоте, далее потребность в нем возрастает и достигает пика в период формирования бобов. Поэтому, помимо насыщения посевов азотом посредством внесения в почву минеральных удобрений, что не дает нужного количества вещества, требуется подкормка вегетирующих растений.

За 3-5 дней до посева требуется провести протравливание посевного материала, которое выполняют специализированными для сои протравливателями, исключаящими травмирование, – например, протравлителем семян ПС-20К с производительностью 3-22 т/ч. При протравливании также допускается нанесение инокулянта ризоторфин, причем посев необходимо произвести в течение суток.

Начинают посев сои при прогревании почвы до 12-14°C. При возделывании на орошении предпочтительным является рядовой способ, способствующий образованию более равномерной площади питания растения. Установлено, что при уменьшении ширины междурядий максимальный эффект дают раннеспелые сорта [5].

Норма высева сои определяется в зависимости от сорта и периода вегетации: чем короче вегетационный период, тем позже в рамках оптимального срока проводится высев и тем больше должна быть густота растений. При посеве на орошении норма высева увеличивается на 25-30%. Норма высева определяется для каждого сорта и варьируется от 500 до 800 тыс. растений на 1 га. Повышение густоты посевов сои для ранних сортов приводит к увеличению листовой поверхности от 43 до 72 м²/га и приросту урожайности

с 13,3 до 20,1 т/га. При этом для среднеспелых сортов повышение нормы высева приводит к снижению фотосинтетических показателей растений; площадь листьев снижается с 93 до 64 м²/га, а урожайность – с 18,7 до 14,4 т/га [6]. Прикатывание посевов улучшает контакт между семенами и грунтом, подтягивает дополнительную влагу из нижних слоев. Через 2-3 дня после посева с целью эффективной борьбы с ранними сорняками проводят довсходовое боронование сои. Этот прием также способствует выравниванию поверхности, уничтожению колес от колес, сохранению влаги в верхнем слое.

Защиту посевов сои и подкормку важно производить с использованием спутникового мониторинга. Современные платформы позволяют проводить анализ индекса листовой поверхности, отклонения в погодных условиях: аномальные температуры (засуха/переувлажнение), иммунное состояние растения, эффективность общего агроприема на разных полях [7]. Сервисы позволяют отслеживать погодные аномалии (засуха, град), пораженность вредителями, потребление CO₂ в кг/га, индекс вегетации, фактическое испарение или недостаток испарения, количество выпавших осадков, концентрацию азота. Одной из таких платформ может являться Агросигнал, или Cropwise Operations.

Для исключения грибковых инфекций весьма важным является проведение фунгицидной обработки. К эффективным фунгицидам относятся Максим XL, Делит, Азоксит. В случае повторного применения важно наблюдать за погодой, а если держится высокая влажность и температура составляет выше 25°C, требуется повторная обработка препаратом, в состав которого входит стробилурин с триазолом [8].

Цель исследований: освещение вопросов, связанных с особенностями технологии возделывания сои (*Glycine hispida* L.).

Материалы и методы исследований. Полевые исследования проводили на посевах сои сорта Соер 7 по общепринятым методикам на экспериментальных участках УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Вавиловского университета (с. Степное, Энгельсский район, Саратовская область), УНПК Агроцентр Вавиловского университета.

Для установления оросительной нормы применяются экспериментальные методы с расчетом норм полива и сроков проведения. Определение водонормирования на орошении осуществляется решением уравнения водного баланса, где основным элементом является суммарное водопотребление сои на оптимально увлажненном поле. При расчете оросительных норм

учитываются следующие параметры: сумма эффективных осадков, мм; транспирация растений включая испарение с поверхности почвы, мм; активные запасы влаги в расчетном слое, мм; подпитывание грунтовых вод, мм; объем воды, необходимый для создания промывного режима, мм. При помощи уравнения водного баланса высчитываются режим орошения и оросительная норма:

$$M = E - Va - P\alpha - G, \quad (1)$$

где M – оросительная норма, м³/га; E – суммарное водопотребление, мм; Va – запас влаги в активном слое почвы, мм; P – атмосферные осадки, мм; α – коэффициент использования осадков; G – капиллярный приток из грунтовых вод.

Суммарное испарение и водопотребление рассчитываются по формуле С.М. и А.М. Алпатьевых:

$$E = K \Sigma d, \quad (2)$$

где K – биоклиматический коэффициент; Σd – сумма дефицита влажности воздуха за расчетный период; P – атмосферные осадки, мм.

Полив производился фронтальными, круговыми дождевальными машинами, барабанными или двухконсольными установками. Первый полив производится в фазу 1-3 листьев нормой 250-300 м³/га в фазу бутонизации – начала цветения. При проведении второго и третьего поливов осуществляли подкормку сои фосфорными удобрениями с нормой 20 кг/га. С началом фазы цветения норму воды при втором и третьем поливах увеличивали до 350 м³/га для большего промачивания почвы.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при повышении влажности почвы в первый период с 60 до 70% НВ урожайность возрастает на 19,6%, при повышении влажности с 70 до 80% НВ во второй период урожайность увеличивается на 26%, а в третий период – на 23,8%. Это подтверждает особую отзывчивость сои на орошении во второй период – от цветения до плодообразования, но обеспеченность влагой в первый и третий периоды роста и развития сои также является важной (рис. 1) [9].

Среднесуточное водопотребление сои изменяется в зависимости от фазы развития растения: от 22,6 м³/га в сутки в период посев – всходы до 65,9 м³/га в период образования плодов и налива семян. При созревании плодов потребление воды соей снижается до 28,5-31,7 м³/га.

Экспериментально установлено, что увеличение урожайности связано с ростом среднесуточного потребления воды. Урожайность 2,03 т/га обеспечивается среднесуточным потреблением 41,6 м³/га в сутки, 2,8 т/га – до 43,0 м³/га,

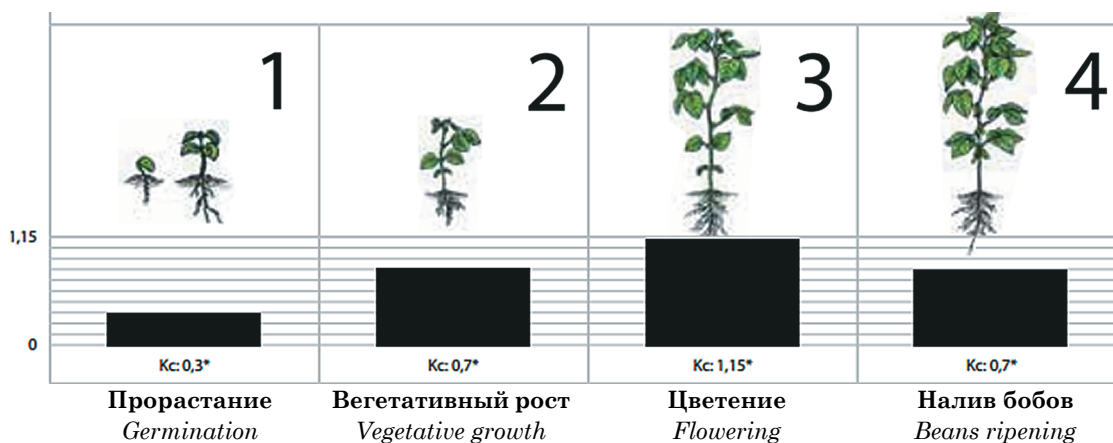


Рис. 1. Коэффициент потребления воды соей по фазам развития

Fig. 1. Soy water consumption coefficient by development phases

а урожайность 3,0 т/га достигается расходом воды 43,9 м³/га [10]. При этом неограниченной подачей воды нельзя решить вопрос урожайности, а нерациональная трата воды повышает себестоимость единицы товарной продукции.

При разработке режима орошения сои требуется определить коэффициент водопотребления. Значение коэффициента водопотребления варьирует в зависимости от уровня естественных осадков, технологии посева, плодородия почвы, технологии выращивания, количества и качества применения удобрений. Применение удобрений оказывает весомое влияние на расход воды при орошении. Снижение нормы внесения азота на уровне 20 кг/га при расчетной урожайности в 2,0 т/га приводит к повышению водопотребления в 1,2 раза. Снижение норм внесения удобрений повышает расход воды и ухудшает продуктивность ее использования, а внесение удобрений, наоборот, способствует рациональному использованию воды.

Для обработки подходит опрыскиватель прицепной ОПМШ-2000 Буран или самоходный Туман 3 (рис. 2). Опрыскиватель прицепной обладает шириной захвата 21-24 м в зависимости от комплектации, баком на 3000 л, компьютером

контроля за расходуемой жидкостью в зависимости от скорости «Bravo-180». Агрегат обладает системой балансировки штанги путем 2-звеньевом механического узла стабилизации от поперечной раскачки и гидравлическим узлом стабилизации штанги от ударных нагрузок.

Для выбора режима орошения перво-степенное значение имеет установление оптимальной оросительной нормы. Водопотребление из грунтовых вод (G) зависит от глубины их залегания, механического состава почвы, биологических особенностей сорта сои (табл. 1) [11].

Фронтальные и круговые дождевальные машины относительно машин капельного полива имеют ряд преимуществ: обеспечивают более точное и равномерное распределение воды, имеют возможность равномерного и точного внесения удобрений, более долгий срок службы (рис. 3).

Режим полива помогает удерживать дифференцированный предполивной порог влажности 70-80-80% в активном слое почвы с промачиванием на 0,4 м до фазы цветения, и 0,7 м – с начала цветения до конца вегетации. В фазу налива бобов при проведении пятого-седьмого поливов проводят подкормку азотом с нормой 20 кг/га.



Рис. 2. Опрыскиватель ОПМШ-2000 Буран и Туман 3

Fig. 2. OPSH-2000 sprayer Buran and Tuman 3

Таблица 1. Расход грунтовых вод соей в Поволжье, м³/га

Table 1. Groundwater consumption by soybean in the Volga region, m³/ha

Культура <i>Crop</i>	Уровень грунтовых вод, м <i>Ground water level, m</i>			
	2,0	2,5	3,0	4,0
Соя / Soybean	2600	2000	1600	420

Поддержание нормы влажности корректируется под гидротермические условия вегетации сои в каждый отдельный год. Суммарное водопотребление с улучшением влагообеспеченности за счет повышения предполивного порога влажности в среднем составило 4823 м³/га и возрастало от 4643 до 4989 м³/га. Наибольшее количество воды соя потребляет при предполивной влажности почвы 80% – до 4989 м³/га. Если поддерживать уровень влажности 80% только в фазу цветения, суммарное водопотребление снижается до 4834 м³/га, а в случае снижения до 70% НВ в слое 0,4 м снижается до 4643 (табл. 2).

Наиболее эффективным режимом полива является дифференцированный метод

с предполивным порогом 70-80-80% НВ и мощностью активного слоя 0,4-0,7 м при поддержании влажности выше 80% в период цветения, формирования и налива бобов.

В условиях Нижнего Поволжья биологическая спелость сои наступает в сентябре. При достижении влажности зерна сои на уровне 14-15% приступают к уборке. Для сои требуется использовать жатки Flex с гибким режущим аппаратом [12]. Данный тип жатки позволяет достичь минимальной высоты среза на уровне 3-6 см за счет автоматического копирования рельефа поля. Потери за жаткой типа Flex составляют 2,1-2,4%, при этом за обычной жаткой могут достигать до 12-15%. Чтобы снизить дробление зерна, требуется выставить количество оборотов барабана не более 700 об/мин и достаточный зазор между декой и барабаном [13]. Сою можно убирать только прямым комбайнированием. Для снижения количества битого зерна комбайн должен быть настроен на равномерную подачу и обработку массы. Особое внимание уделяют настройке измельчителя, отделяющего створки бобов от семян, при этом сита должны соответствовать



Рис. 3. Фронтальная и круговая дождевальная машина Lindsay в УНПО «Поволжье»

Fig. 3. Lindsay front and circular sprinkler machine in the UNPO «Povolzhje»

Таблица 2. Суммарное водопотребление посевов сои по периодам развития при разных режимах влажности почвы

Table 2. Total water consumption of soybean crops by development periods under different soil moisture conditions

Вариант режима влажности почвы <i>Variant of soil moisture regime</i>	Посев – всходы – начало ветвления <i>Sowing – shoots – beginning of branching</i>	Ветвление <i>Branching</i>	Ветвление – начало цветения <i>Branching – beginning of flowering</i>	Цветение – начало образования бобов <i>Flowering – beginning of beans formation</i>	Образование бобов – начало созревания <i>Beans formation – beginning of ripening</i>	Созревание <i>Ripening</i>	Посев – начало созревания <i>Sowing – beginning of ripening</i>
70% НВ, 0,7 м	437	435	688	1250	1656	362	4828
70% НВ, 0,4 м	428	437	687	1173	1580	338	4643
70-80-70% НВ, 0,4-0,7 м	428	436	687	1217	1693	373	4834
80% НВ, 0,4-0,7 м	451	461	692	1239	1723	423	4989

размеру зерновок сои. Скорость движения комбайна не должна превышать 4 км/ч.

После перемещения на ток проводят предварительную, первичную и вторичную очистку (рис. 4). При подработке сои требуется обеспечить оптимальный режим работы с минимальным количеством проходов для снижения повреждения семян. Предварительную очистку проводят на стационарных или самоходных ворохоочистителях, используя, например, ЗД-10000 или аналоги. Оборудование позволяет работать с зерном сои влажностью до 35%, с засоренностью до 20% и примесью соломы до 5%. При предварительной очистке должны уходить не менее 50% сорной примеси и вся солоmistая примесь. Используемые решета для очистки и сортировки сои: Б1 – круглые (7,0-8,0 мм), прямоугольные (5,5-6,0 мм); Б2 – круглые (8,0-9,0 мм), прямоугольные (6,5-7,0 мм); В1 – прямоугольные (3,0 мм), круглые (4,0-5,0 мм); Г1 – прямоугольные (3,2-3,6-4,0 мм); чистота продукта должна достигать 97%.

Сушка сои является одной из ключевых операций в процессе подработки. Основной проблемой при осуществлении сушки сои является высокое содержание белка в семенах, что провоцирует плохую отдачу воды, а в случае высокой температуры агента вызывает растрескивание оболочки. Для сои можно использовать только камерные сушилки, так как соя отдает 0,50,8% влаги за 1 ч. При этом товарную сою нельзя нагревать до температуры более 42°C, а семенной материал – не выше 35°C, так как резко снижаются посевные качества. Скорость фильтрации должна составлять 0,2-0,3 м/с, высота насыпи – 0,4-0,5 м. Подачу теплого воздуха прекращают, когда его относительная влажность снижается до 25-20%.

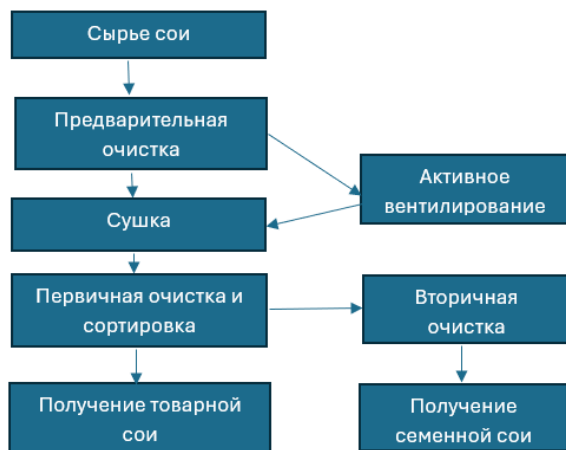


Рис. 4. Схема подработки сои

Fig. 4. The scheme of soybeans additional treatment

После сушки проводится первичная очистка сои, которую необходимо довести до характеристик ГОСТ 17109-88. Из зерновой массы удаляется сорная и зерновая примесь. За один проход из зернового вороха должно удалиться 60% примесей. Вторичная очистка в современных условиях проводится на семенных линиях и позволяет очистить товарную массу до чистоты 99,9%, то есть до кондиций семенного материала.

В состав семенной линии входят пневмостол и фотосепаратор (рис. 5). Пневмостол разделяет очищаемую массу на фракции по весу, фотосепаратор отбраковывает примеси и дефектные зерна с точностью до 99,9%.

Для оценки правильности настройки зерноочистительного комплекса осуществляется контроль показателя полноты разделения зерновой массы сои и потери полноценного зерна в отходах. Показатель полноты разделения определяют из соотношения:

$$E_p = (m_{\text{п}} - m_o) / m_{\text{п}},$$

где $m_{\text{п}}$ – масса примесей или неполноценных фракций, содержащихся в исходной смеси; m_o – масса примесей или фракций, не соответствующих требованиям очищенного (отсортированного) зерна.

Для получения массы $m_{\text{п}}$ требуется отобрать из всех частей насыпи сои композит весом 1 кг, произвести перемешивание, выделить пробу массой 50 г, выбрать из пробы примеси и определить массу $m_{\text{п}}$. Масса m_o отбирается аналогично, но только из очищенной сои, полученной от настроенной машины. В навеске выделяются сорные примеси, неполноценные зерна, и перевзвешиванием определяется масса m_o . Показатель ρ_e для предварительной очистки зерна должен составлять не менее 0,5, для первичной очистки – 0,6, для вторичной – 0,8. Допустимая доля неполноценного зерна в отходах машин при предварительной очистке составляет 0,2%, при первичной очистке – 0,5%, при вторичной очистке – 3,0%.

После очистки семена закладывают на хранение. Для закладки сои можно использовать складское и расфасованное хранение. Условия хранения регламентируются ГОСТ Р 52325-2005 «Сортовые и посевные качества. Общие технические условия». Основные параметры, по которым системно должна проверяться насыпь независимо от типа хранения, – это температура, влажность, зараженность вредителями, изменение цвета и запаха. В случае производства семенного материала сои требуется провести протравливание семян и их фасовку строго в бумажные пакеты, исключая воздействие света.

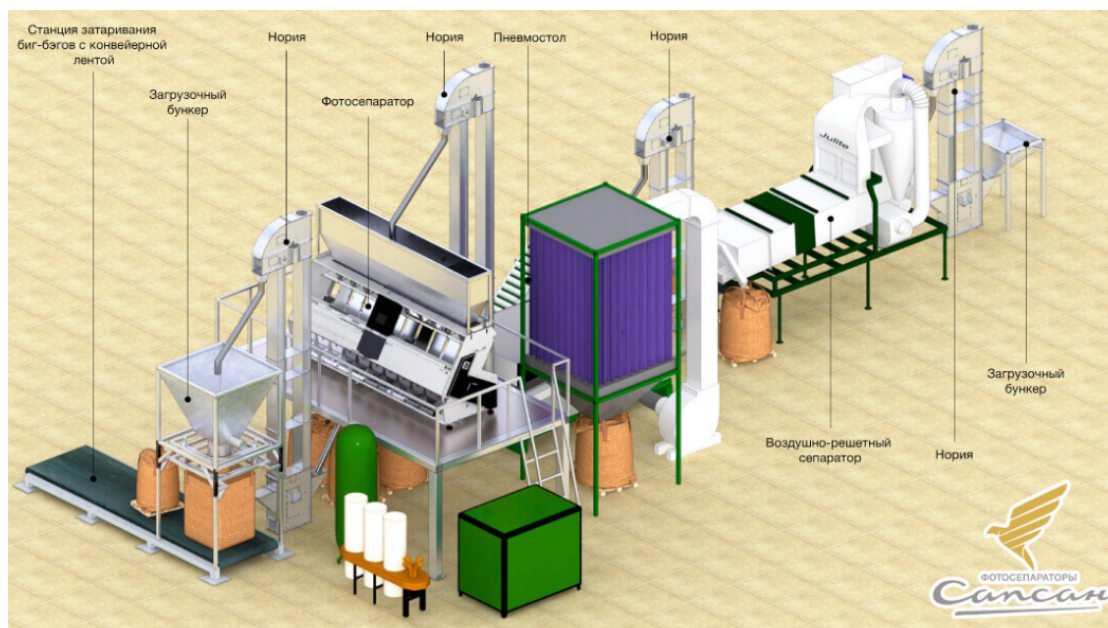


Рис. 5. Семенная линия с фотосепаратором и пневмостолом Сарсан

Fig. 5. Seed line with photo separator and pneumatic table Sapsan

Выводы

Для получения стабильных урожаев сои производство следует обеспечивать строго в соответствии с технологической схемой. При этом необходимо вносить в технологию сезонные корректировки технологических приемов с поправкой на температуру, фактическую влажность почвы и количество выпадающих осадков.

Наиболее эффективным режимом полива является дифференцированный метод с предположительным порогом влажности почвы 70-80-80% НВ

и мощностью активного ее слоя 0,4-0,7 м при поддержании влажности почвы выше 80% в период цветения, формирования и налива бобов.

Для уборки сои требуется применять жатки, повторяющие рельеф поверхности поля. В процессе закладки на хранение основной фокус требуется делать на деликатном перемещении и сушке, исключая травмирование семян при перемещении, а также при пересушивании за счет повышенных температурных режимов. Хранение требуется выполнять с учетом его типа.

Список использованных источников

1. Савенков В.П. Условия минерального питания сои в плодосменном севообороте при различных приемах и системах основной обработки почвы в лесостепи ЦФО России // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (57). С. 64-68. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-1-64-69
2. Ладонин В.Ф. Проблемы охраны окружающей среды и устойчивого развития / Сб. статей: История развития агрохимических исследований в ВИУА. М.: Агроконсалт, 2001. С. 46-66.
3. Шитикова А.В. Технология производства продукции растениеводства: учебное пособие / А.В. Шитикова, М.Е. Бельшклина, В.Н. Мельников. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2018. 150 с.
4. Выращивание сои [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asm-agro.ru/articles/vyrashchivanie-soi/> (Дата обращения: 12.12.2024 г.)
5. Башкатов А.Я. Инновационные взгляды на современную технологию возделывания сои в Курской области: практическое руководство / А.Я. Башкатов, Ж.Н. Минченко, П.А. Солосенков. Курск: «Призма», 2019. 44 с.
6. Толоконников В.В. Влияние норм посева на продуктивность сои с различными сроками созревания в условиях орошения

References

1. Savenkov V.P. Conditions of soybean mineral nutrition in fruit-bearing crop rotation with various methods and systems of basic tillage in the forest-steppe of the Central Federal District of Russia // Bulletin of the Ulyanovsk Agricultural Academy. 2022. № 1 (57). P. 64-68. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-1-64-69
2. Ladonin V.F. Problems of environmental protection and sustainable development / Collection of articles: The history of the development of agrochemical research in VIUA. Moscow: Agroconsult, 2001. P. 46-66.
3. Shitikova A.V. Technology of crop production: textbook / A.V. Shitikova, M.E. Belyshkina, Melnikov Moscow: Publishing House of the Russian State Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, 2018. 150 p.
4. Soybean cultivation [Electronic resource]. – Access mode: <https://asm-agro.ru/articles/vyrashchivanie-soi/> (Date of request: 12.12.2024)
5. Bashkatov A.Ya., Minchenko Zh.N., Solosenkov P.A. Innovative views on modern soybean cultivation technology in the Kursk region: a practical guide. Kursk: Prisma, 2019. 44 p.
6. Tolokonnikov V.V., Vronskaya L.V., Koshkarovskaya T.S. The influence of sowing rates on the productivity of soybeans with different maturation periods under

/ В.В. Толоконников, Л.В. Вронская, Т.С. Кошкарская // Орошаемое земледелие. 2022. № 3 (38). С. 21-23. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-3 EDN: SHBCEC

7. Загоруйко М.Г. Мониторинг показателей фотосинтетической деятельности и его использование для прогнозирования потенциальной урожайности сои / М.Г. Загоруйко, М.Е. Бельшкينا, Р.К. Курбанов, Н.И. Захарова // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 9-12. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp9-12>

8. Применение фунгицидов на сое. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://old.kccc.ru/news/interesting-facts/primenenie-fungicidov-na-soe> (Дата обращения: 12.12.2024 г.)

9. Задорожний Р.Н. Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин / Р.Н. Задорожний, И.В. Романов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 4. С. 82-86. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86>; EDN: QLQRVO

10. Повышение урожайности сои за счет применения эффективных решений в области орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lindsay.com/uploads/files/resources/9300Lindsay-Russian-Soybean-Bro_0714_WEB.pdf (Дата обращения: 18.12.2024 г.)

11. Пешкова В.О. Выбор режима орошения, обеспечивающий получение устойчивых урожаев сои в сухостепном Поволжье / В.О. Пешкова, Ю.А. Лукашунас, И.В. Суркова // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 4-7. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-5-4-7 EDN: ZQOOTQ

12. Бельшкينا М.Е. Пути совершенствования технологии уборки и послеуборочной доработки сои / М.Е. Бельшкينا, И.А. Старостин, М.Г. Загоруйко // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 4-5. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp4-9 EDN: YKZKRN

13. Липкань А.В. Методика определения потерь зерна за жаткой и молотилкой комбайна при уборке сои / А.В. Липкань, А.А. Кувшинов, В.С. Усанов и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. Т. 16. № 1. 2022. С. 69-77. EDN: UQKOIH, DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-69-77

Об авторах

Максим Сергеевич Садаев, аспирант; msadaev@cofcointernational.com

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

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

Критерии авторства / Criteria of authorship

Садаев М.С., Бельшкينا М.Е., Загоруйко М.Г. провели теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых выполнили обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interest

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.02.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received after peer review and revision 05.06.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 05.06.2025

irrigation conditions // Irrigated agriculture. 2022. № 3 (38). Pp. 21-23. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-3 EDN: SHBCEC

7. Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Monitoring of photosynthetic activity indicators and its use to predict potential soybean yields // Agrarian Scientific Journal. 2021. № 12. Pp. 9-12. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp9-12>

8. Application of fungicides on soybeans. [electronic resource]. – Access mode: <https://old.kccc.ru/news/interesting-facts/primenenie-fungicidov-na-soe> (Date of request: 12.12.2024)

9. Zadorozhny R.N., Romanov I.V. Improving irrigation efficiency by selecting the design of sprinkler machines // Agricultural machinery and technologies. 2023. Vol. 17. No. 4. P. 82-86. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86>; EDN: QLQRVO

10. Increasing soybean yields through the use of effective irrigation solutions [Electronic resource]. – Access mode: https://www.lindsay.com/uploads/files/resources/9300Lindsay-Russian-Soybean-Bro_0714_WEB.pdf (Date of request: 12/18/2024)

11. Peshkova V.O., Lukashunas Yu.A., Surkova I.V. The choice of an irrigation regime that ensures sustainable soybean yields in the dry-steppe Volga region // Land reclamation and water management. 2021. No. 5. P. 4-7. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-5-4-7 EDN: ZQOOTQ

12. Belyshkina M.E., Starostin I.A., Zagoruiko M.G. Ways to improve harvesting technology and post-harvest refinement of soybeans // Agrarian Scientific Journal, 2020, No. 8, P. 4-5. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp4-9 EDN: YKZKRN

13. Lipkan A.V., Kuvshinov A.A., Usanov V.S., Smolyaninova N.O., Sakharov V.A. Methodology for determining grain losses during combine harvesters and threshing machines during soybean harvesting. 16. № 1. 2022. Pp. 69-77. EDN: UQKOIH, DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-69-77

About the authors

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

Marina E. Belyshkina, DSs (Agro), chief researcher; ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, RSCI AuthorID: 675431; vimsoya@yandex.ru

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

Sadaev M.S., Belyshkina M.E., Zagoruiko M.G. conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-51-59>

УДК 631.6: 626.8



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОМЕМБРАН И ГЕОТЕКСТИЛЯ ДЛЯ ОБЛИЦОВКИ КАНАЛОВ

Ф.К. Абдразаков[✉], Э.Э. Сафин, А.А. Рукавишников

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; Институт инженерии и робототехники; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, Россия

Аннотация. В работе рассматривается технико-экономическое сравнение двух технологий облицовки оросительных каналов: традиционного метода с применением бетонных плит и современной альтернативы – композитных материалов на основе геомембраны и геотекстиля. В рамках исследований выполнены: расчет объемов материалов (бетонные плиты, геомембрана, геотекстиль, анкеры); оценка трудозатрат и техники, необходимой для выполнения работ; анализ логистических затрат и количества транспортных рейсов; сравнение сроков службы и затрат на эксплуатацию в течение 30 лет; оценка полной стоимости строительства и обслуживания облицовки. Проведен сравнительный анализ по следующим критериям: стоимость материалов и монтажа, сроки выполнения работ, логистическая эффективность, эксплуатационные характеристики и долговечность конструкций. По результатам исследований установлено, что композитные материалы позволяют сократить общие затраты более чем в 3 раза, ускорить выполнение работ в 2,34 раза и снизить эксплуатационные расходы в 3,95 раза.

Ключевые слова: оросительный канал, противофильтрационная облицовка, геомембрана и геотекстиль, технико-экономическое обоснование, экологическая устойчивость

Формат цитирования: Абдразаков Ф.К., Сафин Э.Э., Рукавишников А.А. Технико-экономическое обоснование применения геомембран и геотекстиля для облицовки каналов // Природообустройство. 2025. № 4. С. 51-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-51-59>

Original article

FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF GEOMEMBRANES AND GEOTEXTILES FOR CHANNEL CLADDING

F.K. Abdrazakov[✉], E.E. Safin, A.A. Rukavishnikov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; Institute of Engineering and Robotics; 410012, Saratov, Peter Stolypin Avenue, building 4, constr.3. Russia

Abstract. This paper considers a technical and economic comparison of two technologies for lining irrigation channels: the traditional method using concrete slabs and modern alternative – composite materials based on geomembrane and geotextile. As part of the study, the following tasks were performed: calculation of the volume of materials (concrete slabs, geomembrane, geotextiles, anchors); assessment of labor costs and equipment required to perform the work; analysis of logistical costs and the number of transport trips; comparison of service life and operating costs over 30 years; assessment of the total cost of construction and maintenance of cladding. A comparative analysis was carried out according to the following criteria: the cost of materials and installation, the timing of work, logistical efficiency, operational characteristics and durability of structures. According to the results of the study, composite materials can reduce total costs by more than 3 times, accelerate work by 2.34 times and reduce operating costs by 3.95 times.

Keywords: irrigation channel, anti-filtration cladding, geomembrane and geotextile, feasibility study, environmental sustainability

Format of citation: Abdrazakov F.K., Safin E.E., Rukavishnikov A.A. Feasibility study of the use of geomembranes and geotextiles for channel cladding // Prirodobustroystvo. 2025. № 4. P. 51-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-51-59>

Введение. Разница между строительством, ремонтом и реконструкцией облицовок оросительных каналов при использовании традиционных материалов (таких, как бетонные плиты) и современных композитных решений, включающих в себя геотекстиль и геомембраны,

обусловлена не только технологическими особенностями материалов, но и их физико-химическими свойствами, экономической целесообразностью, а также долгосрочным воздействием на экосистему и эксплуатационную надежность. Эти процессы требуют принципиально разных подходов на каждом этапе: от проектирования до реализации и последующего обслуживания.

Строительство новой облицовки традиционными материалами – такими, как бетонные плиты, подразумевает создание жесткой монолитной структуры, которая обеспечивает механическую прочность и устойчивость к высоким гидравлическим нагрузкам. Бетон как материал обладает значительной массой, что требует тщательной подготовки основания: выравнивания дна и стенок канала, укладки песчано-гравийной подушки, а иногда и армирования. Однако бетонная облицовка подвержена постепенному разрушению ввиду циклов замораживания-оттаивания, коррозии арматуры и химического воздействия солей в воде. Эти факторы ограничивают срок службы конструкции 20-30 годами, после чего требуются масштабный ремонт или полная замена.

Цель исследований: технико-экономическое обоснование применения композитных материалов в качестве альтернативы традиционной бетонной облицовке оросительных каналов.

В рамках поставленной цели выполнен комплексный сравнительный анализ двух технологий по критериям: стоимость материалов и работ, трудозатраты, логистическая эффективность, срок службы, устойчивость к внешним воздействиям и затраты на эксплуатацию в долгосрочной перспективе.

Материалы и методы исследований. Методологическая основа исследования включает в себя комплексный технико-экономический подход, основанный на сравнении двух типов облицовки канала: бетонной и композитной. В рамках исследований выполнены: расчет объемов материалов (бетонные плиты, геомембрана, геотекстиль, анкера); оценка трудозатрат техники, необходимой для выполнения работ; анализ логистических затрат и количества транспортных рейсов; сравнение сроков службы и затрат на эксплуатацию в течение 30 лет; оценка полной стоимости строительства и обслуживания облицовки. Источниками данных выступили нормативные документы, справочные материалы, технические характеристики оборудования, а также расчеты, выполненные на основе практического опыта и отраслевых стандартов.

Результаты и их обсуждение. Бетонные конструкции обладают высокой прочностью на сжатие, но слабо сопротивляются растягивающим нагрузкам. Это приводит к характерным видам повреждений: трещинообразованию при неравномерной осадке, выкрашиванию кромок, коррозии арматуры [1].

Композитные материалы, напротив, демонстрируют высокую эластичность и способность к перераспределению нагрузок без разрушения. Геомембрана толщиной может удлиняться на 300-500% перед разрывом, что делает ее устойчивой к подвижкам грунта [2].

Работы с использованием композитных материалов – таких, как геомембраны в сочетании с геотекстилем, основаны на принципах гибкости и адаптивности. Геомембрана, выполняя роль гидроизоляционного барьера, укладывается на подготовленное основание, а геотекстиль служит защитным слоем, предотвращающим механические повреждения и распределяющим нагрузку. Такой подход минимизирует необходимость в тяжелой технике и сокращает сроки работ, поскольку не требует длительного набора прочности, как в случае с бетоном. Кроме того, композитные системы обладают высокой устойчивостью к химической агрессии и ультрафиолету, что продлевает их эксплуатацию до 30-50 лет [3].

Бетон крайне чувствителен к температурным колебаниям. Коэффициент температурного расширения бетона составляет около $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, что при суточных перепадах температуры в $10-20^\circ\text{C}$, характерных для Саратовской области, создает значительные внутренние напряжения. Это приводит к образованию температурных швов, ускоренному разрушению поверхности, потере герметичности стыков [4].

Геосинтетические материалы обладают значительно более высоким коэффициентом температурного расширения, но благодаря своей гибкости не накапливают разрушающие напряжения. Это делает их особенно устойчивыми в условиях континентального климата с резкими сезонными и суточными колебаниями температур [5].

Ремонт облицовки – процесс, который для бетонных конструкций часто превращается в борьбу с симптомами, а не с причинами разрушения. Трещины в бетоне заделываются растворами или герметиками, отслоившиеся плиты заменяются новыми. Однако локальный ремонт не устраняет системных проблем: неравномерной усадки грунта, коррозии арматуры или эрозии основания. Каждое вмешательство временно восстанавливает функциональность,

но не останавливает деградацию материала. В случае с композитными материалами ремонт чаще сводится к замене поврежденных участков геомембраны или к восстановлению защитного слоя геотекстиля. Поскольку эти материалы не подвержены коррозии и обладают эластичностью, повреждения обычно носят локальный характер (проколы, разрывы) и легко устраняются без остановки работы канала [6].

Реконструкция – наиболее сложный и ресурсоемкий этап, особенно для старых бетонных каналов, часто подразумевающий полный демонтаж разрушенных плит, укрепление основания и монтаж новой облицовки. В таких случаях переход на композитные материалы может стать стратегическим решением, позволяющим избежать повторения ошибок прошлого. Например, вместо демонтажа старых бетонных плит их можно использовать как основание для укладки геомембраны, что сокращает объем земляных работ и снижает затраты. Геотекстиль в этом случае играет роль амортизирующего слоя, компенсирующего неровности и предотвращающего контакт геомембраны с острыми краями бетона [6].

С точки зрения экологии и устойчивости композитные материалы демонстрируют значительные преимущества. Бетонное производство связано с высокими выбросами CO_2 , а разрушение плит приводит к образованию строительного мусора, который сложно утилизировать. Геомембраны и геотекстиль, особенно из полимеров с повышенной устойчивостью к УФ-излучению, имеют меньший углеродный след на этапе производства и могут быть частично переработаны. Кроме того, их применение снижает почти

до нуля фильтрацию воды, что особенно важно в регионах с дефицитом водных ресурсов [7].

Эксплуатация в водной среде создает уникальные условия для биологического воздействия.

Бетон подвержен:

- биокоррозии (развитие водорослей, мхов);
- разрушению корневыми системами растений.

Геомембраны из современных полимеров (HDPE, LLDPE) обладают:

- биологической инертностью;
- устойчивостью к УФ-излучению;
- химической стойкостью к агрессивным средам.

Исследования показывают, что срок службы качественных геомембран в аналогичных условиях на 40-60% превышает показатели бетонных конструкций [8].

Рассмотрим технологию строительства канала композитными материалами взамен бетонной облицовки канала длиной 1 км, глубиной 3 м, а шириной по дну – 2,5 м, с общей площадью 8500 м² при укладке сечения канала бетонными плитами с параметрами (1,5 × 6 м и 3 × 6 м) (табл. 1, 2, рис. 1).

График работы техники (для бетонных плит)

- Дни 1-10. Доставка материалов: 20 фур/день (всего 194 рейса) с бетонными плитами и сопутствующими материалами.

- Дни 11-15. 2 × Hitachi ZX350-6 (экскаваторы) выполняют выемку грунта на глубину 3,5 м (8 ч/день). Caterpillar D6T (бульдозер) выравнивает дно и откосы канала (6 ч/день).

Таблица 1. Необходимые машины для облицовки бетонными плитами

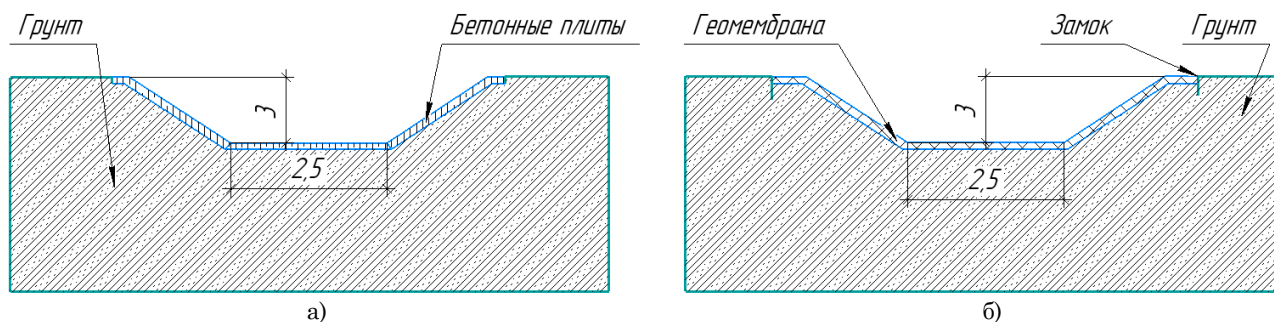
Table 1. Necessary machines for concrete slab cladding

Техника <i>Equipment</i>	Марка/Модель <i>Make / Model</i>	Характеристики <i>Characteristics</i>	Количество <i>Quantity</i>	Задачи <i>Tasks</i>
Экскаватор <i>Excavator</i>	Hitachi ZX350-6	Ковш 1,6 м ³ , мощность 203 л.с. <i>Bucket 1.6 m³, power 203 hp.</i>	2	Выемка грунта, планировка дна <i>Soil excavation, bottom planning</i>
Бульдозер <i>Bulldozer</i>	Caterpillar D6T	Ширина отвала 3,7 м, мощность 215 л.с. <i>Blade width 3.7 m, power 215 hp.</i>	1	Выравнивание дна и откосов <i>Leveling the bottom and slopes</i>
Кран <i>Crane</i>	Liebherr LTM 1050-3.1	Грузоподъемность 50 т, стрела 42 м <i>Load capacity 50 t, boom 42 m</i>	2	Укладка плит <i>Laying slabs</i>
Погрузчик <i>Loader</i>	Volvo L350H	Грузоподъемность 18 т <i>Load capacity 18 t</i>	1	Разгрузка плит <i>Unloading of slabs</i>
Виброплита <i>Vibratory plate</i>	Wacker Neuson DPU6050	Вес 650 кг, сила уплотнения 25 кН <i>Weight 650 kg, compaction force 25 kN</i>	2	Уплотнение песчано-гравийной подушки <i>Compaction of sand and gravel cushion</i>

Таблица 2. График работ с бетонными плитами

Table 2. Schedule of work with concrete slabs

Этап Stage	Дни Days	Техника/Персонал Equipment/Personnel	Детали Details
Доставка плит Delivery of slabs	10	20 фур/день 20 trucks / day	194 рейса 194 trips
Выгрузка Unloading	2	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Складирование Warehousing	1	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Подготовка канала Preparing the channel	5	2 × Hitachi ZX350-6, Caterpillar D6T	Выемка 3000 м³ грунта Excavation of 3,000 m³ of soil
Укладка плит Laying slabs	14	2 × Liebherr LTM 1050-3.1	58 плит/день 58 slabs / day
Герметизация швов Sealing of seams	2	Вспомогательный персонал Support staff	425 м³ раствора 425 m³ of solution
Контроль качества Quality control	1	Инженеры Engineers	Проверка уровня и герметичности Checking the level and sealing
Итого Total	35 дня 35 days		

Рис. 1. Схематичные схемы укладки:
а) бетонных плит; б) композитного материалаFig. 1. Schematic diagrams of laying
a) concrete slabs, b) composite material

– Дни 16-17. Volvo L350H (погрузчик) разгружает и складировает 806 бетонных плит (10 ч/день).

– Дни 18-32. 2 × Liebherr LTM 1050-3.1 (краны) укладывают 58 плит/день (8 ч/день).

– Дни 33-34. Рабочие герметизируют швы с помощью бетононасоса Putzmeister BSA 1409 D (расход – 425 м³ раствора).

Привлекаемые кадры

– монтажники – 8 чел. (укладка плит, контроль уровня);

– операторы техники – 5 чел. (2 экскаватора, 1 бульдозер, 2 крана);

– вспомогательный персонал – 5 чел. (поднос материалов, очистка);

– итого – 18 чел.

Материалы

Бетонные плиты:

– 3 × 6 м (для дна): $2500 \text{ м}^2 / 18 \text{ м}^2 = 139$ плит (вес – 9 т/шт.).

– 1,5 × 6 м (для стенок): $6000 \text{ м}^2 / 9 \text{ м}^2 = 667$ плит (вес – 4,5 т/шт.).

– Всего: 806 плит (общий вес – 4846,5 т).

– Песчано-гравийная подушка – толщиной 15 см в объеме 1275 м³.

– Цементный раствор для швов – 425 м³.

Логистика

Фуры (25 т) – 194 рейса; график доставки – 20 фур/день → 10 дней.

Технологический процесс для облицовки бетонными плитами:

$$T_{\text{бетон}} = T_{\text{д.}} + T_{\text{в.}} + T_{\text{скл.}} + T_{\text{п.}} + T_{\text{у.}} + T_{\text{г.}} + T_{\text{к.к.}},$$

где $T_{\text{д.}}$ – время доставки бетонных плит на участок; $T_{\text{в.}}$ – время выгрузки плит; $T_{\text{скл.}}$ – время на складирование бетонных плит недалеко от места проводимых работ; $T_{\text{п.}}$ – время подготовки участка канала (очистка, выравнивание, укладка геотекстиля, подготовка песчано-гравийной подушки); $T_{\text{у.}}$ – время укладки бетонных плит; $T_{\text{г.}}$ – время герметизации швов между плитами; $T_{\text{к.к.}}$ – время контроля качества облицовки.

Расчет продолжительности работы по технологическому процессу

Для бетонной облицовки:

Т д. = 10 дней (доставка плит);
Т в. = 2 дня; Т скл. = 1 день; Т п. = 5 дней; Т у. = 14 дней; Т г. = 2 дня; Т к.к. = 1 день; Т бетон = 10 + 2 + 1 + 5 + 14 + 2 + 1 = 35 дней.

График работы техники

– Дни 1-3. JCB JS220 выполняет подготовку канала (8 ч/день).

– День 4. КамАЗ-6520 доставляет все материалы.

– Дни 5-9. Hyundai HL940TM монтирует геомембрану (3 рулона/день).

– Дни 10-11. Монтажники закрепляют анкера с помощью Husky KH700.

Привлекаемые кадры

– монтажники – 6 чел. (раскатка, крепление); операторы техники – 3 чел. (экскаватор, кран); вспомогательный персонал – 4 чел.

Итого: 13 чел.

Таблица 2. График работ с бетонными плитами

Table 2. Schedule of work with concrete slabs

Этап Stage	Дни Days	Техника/Персонал Equipment/Personnel	Детали Details
Доставка плит Delivery of slabs	10	20 фур/день 20 trucks / day	194 рейса 194 trips
Выгрузка Unloading	2	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Складирование Warehousing	1	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Подготовка канала Preparing the channel	5	2 × Hitachi ZX350-6, Caterpillar D6T	Выемка 3000 м³ грунта Excavation of 3,000 m³ of soil
Укладка плит Laying slabs	14	2 × Liebherr LTM 1050-3.1	58 плит/день 58 slabs / day
Герметизация швов Sealing of seams	2	Вспомогательный персонал Support staff	425 м³ раствора 425 m³ of solution
Контроль качества Quality control	1	Инженеры Engineers	Проверка уровня и герметичности Checking the level and sealing
Итого Total	35 дня 35 days		

Таблица 3. Необходимые машины для облицовки композитными материалами

Table 3. Necessary machines for cladding with composite materials

Техника Equipment	Марка/Модель Brand/Model	Характеристики Characteristics	Количество Quantity	Задачи Tasks
Экскаватор Excavator	JCB JS220	Ковш 1,2 м³, мощность 160 л.с. Bucket 1.2 m³, power 160 hp.	1	Выемка грунта (глубина 3,5 м), планировка дна Excavation (depth 3.5 m), bottom planning
Бульдозер Bulldozer	Caterpillar D6T	Мощность: 215 л.с. Ширина отвала: 3,7 м Масса: 21,5 т Power: 215 hp Blade width: 3.7 m Weight: 21.5 t	1	Выравнивание дна и откосов Leveling the bottom and slopes
Складирование, выгрузка Warehousing, unloading	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	Грузоподъемность 18 т Load capacity 18 t	1	Складирование и выгрузка композитного материала Storage and unloading of composite material
Кран-манипулятор Crane-manipulator	Hyundai HL940TM	Грузоподъемность 3,5 т, стрела 21 м Load capacity 3.5 t, boom 21 m	1	Монтаж геомембраны Installation of geomembrane
Грузовик Truck	КамАЗ-6520	Грузоподъемность 20 т Load capacity 20 t	1	Доставка материалов Delivery of materials

Материалы

- геомембрана (HDPE, 2 мм) – 15 рулонов (600 м² каждый) → 10,2 т.
- геотекстиль (500 г/м²) – 8500 м² → 4,25 т.
- анкеры – 34000 шт. → 3,4 т.

Логистика

1 рейс – КамАЗ-6520 (все материалы: 17,85 т).

Технологический процесс для облицовки композитным материалом

$$T'_{\text{композит}} = T'_{\text{д.}} + T'_{\text{в.}} + T'_{\text{скл.}} + T'_{\text{п.}} + T'_{\text{у.}} + T'_{\text{м.}} + T'_{\text{г.}} + T'_{\text{к. анк.}} + T'_{\text{к.к.}},$$

где $T'_{\text{д.}}$ – время доставки материалов на участок; $T'_{\text{в.}}$ – время выгрузки материалов; $T'_{\text{скл.}}$ – время на складирование композитных материалов недалеко от места проводимых работ; $T'_{\text{п.}}$ – время подготовки участка канала (очистка, выравнивание); $T'_{\text{у.}}$ – время на укладку

материала; $T'_{\text{м.}}$ – время монтажа композитных панелей; $T'_{\text{г.}}$ – время, требуемое для сварки материала; $T'_{\text{к. анк.}}$ – время, необходимое для крепления композитного материала анкерами; $T'_{\text{к.к.}}$ – время контроля качества облицовки.

Расчет продолжительности работы по технологическому процессу

Для композитной облицовки:

$$T'_{\text{д.}} = 1 \text{ день (доставка материалов); } T'_{\text{в.}} = T'_{\text{с.}} = 1 \text{ день; } T'_{\text{п.}} = 3 \text{ дня;}$$

$$T'_{\text{у.}} = 2 \text{ дня; } T'_{\text{м.}} = 5 \text{ дней; } T'_{\text{к. анк.}} = 2 \text{ дня; } T'_{\text{к.к.}} = 1 \text{ день.}$$

$$T'_{\text{композит}} = 1 + 1 + 3 + 2 + 5 + 2 + 1 = 15 \text{ дней.}$$

Вывод. Укладка композитной облицовки в 2,4 раза быстрее и требует на 194 рейса меньше.

Таблица 4. График работ с композитными материалами

Table 4. Schedule of works with composite materials

Этап Stage	Дни Days	Техника/Персонал Equipment / Personnel	Детали Details
Доставка материалов Delivery of materials	1	КамАЗ-6520 KamAz-6520	17,85 т 17,85 t
Выгрузка / Unloading	1	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	17,85 т 17,85 t
Подготовка канала Preparing the channel	3	JCB JS220	Выемка 1500 м³ грунта Excavation of 1,500 m ³ of soil
Укладка геотекстиля Laying geotextiles	2	Вспомогательный персонал Support staff	8500 м² 8500 m ²
Монтаж геомембраны Installation of geomembrane	5	Hyundai HL940TM	3 рулона/день 3 rolls / day
Крепление анкерами Fastening with anchors	2	Вспомогательный персонал Support staff	34 000 шт. 34 000 pcs.
Контроль качества Quality control	1	Инженеры Engineers	Проверка герметичности Checking for sealing
Итого / Total	15 дней 15 days		

Таблица 5. Техничко-технологические показатели сравниваемых технологий

Table 5. Technical and technological indicators of the compared technologies

Параметр Parameter	Бетонные плиты Concrete slabs	Композитная облицовка Composite cladding
Техника Equipment	6 ед. (2 крана, 2 экскаватора, 1 бульдозер, 1 погрузчик) 6 units (2 cranes, 2 excavators, 1 bulldozer, 1 loader)	3 ед. (1 экскаватор, 1 кран, 1 погрузчик) 3 units (1 excavator, 1 crane, 1 loader)
Привлекаемые кадры Personnel to be recruited	18 чел. 18 people.	13 чел. 13 people.
Материалы Materials	806 плит (4846,5 т) 806 slabs (4,846.5 t)	15 рулонов геомембраны + 8500 м² геотекстиля + 34000 анкеров 15 rolls of geomembrane + 8,500 m ² of geotextile + 34,000 anchors
Доставка / Delivery	194 рейса / 194 trips	1 рейс / 1 trip
Сроки / Deadlines	34 дня / 34 days	14 дней / 14 days

Таблица 6. Сводная таблица сравнения затрат
Table 6. Cost comparison summary table

Параметр Parameter	Бетонные плиты Concrete slabs	Композитные материалы Composite materials
ГСМ Fuel and lubricants	8132 л (570 000 руб) 8132 l (570 000 rbl)	1110 л (80 000 руб) 1110 l (80 000 rbl)
Доставка техники / Delivery of equipment	700 000 руб/rbl	300 000 руб/rbl
Аренда техники / Equipment rental	688 000 руб/rbl	232 000 руб/rbl
Итого (без материалов) / Total (excluding materials)	2,96 млн руб/ mln rbl	612 тыс. Руб/ thousand rbl

Технико-экономическое сравнение облицовки канала (1 км.)

Типы плит и объемы. Плиты 3×6 м для дна: $2500 \text{ м}^2 / 18 \text{ м}^2 = 139$ плит (вес – 9 т/шт.); плиты $1,5 \times 6$ м для стенок: $6000 \text{ м}^2 / 9 \text{ м}^2 = 667$ плит (вес – 4,5 т/шт.);

всего: 806 плит, общий вес – 4846,5 т; песчано-гравийная подушка: 1275 м^3 ; цементный раствор для швов – 425 м^3 .

Логистика. Фуры (25 т): $4846,5 / 25 = 194$ рейса; график доставки: 20 фур/день $\rightarrow 10$ дней; стоимость доставки: $50 \text{ км} \times 40 \text{ руб/км} \times 194 \text{ фур} = 388000 \text{ руб}$.

Стоимость материалов и монтажа. Материал: $8000 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 68000000 \text{ руб}$; монтаж: $2400 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 20400000 \text{ руб}$.

Итого: 88788000 руб. (с доставкой).

Композитный материал

Состав комплекта: геомембрана – 15 рулонов по $600 \text{ м}^2 \rightarrow 10,2 \text{ т}$; геотекстиль (500 г/м^2): $8500 \text{ м}^2 \rightarrow 4,25 \text{ т}$; анкеры: 34000 шт. $\rightarrow 3,4 \text{ т}$; общий вес: $17,85 \text{ т} \rightarrow 1$ рейс КамАЗ-6520; доставка: $50 \text{ км} \times 40 \text{ руб/км} \times 1 \text{ рейс} = 2000 \text{ руб}$.

Стоимость материалов и монтажа. Геомембрана: $2200 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 18700000 \text{ руб}$; геотекстиль: 510000 руб ; анкеры: 680000 руб ; монтаж: $1200 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 10200000 \text{ руб}$.

Итого: 30092000 руб. (с доставкой).

Итоговое сравнение экономических показателей технологий представлено в таблицах 6, 7.

Полная стоимость облицовки канала определяется следующим образом.

1. Бетонные плиты:

$$C_{\text{ц}} (\text{бетон}) = C_m + C_s + C_l + C_e + C_t + C_k,$$

где C_m – стоимость бетонных плит; C_s – стоимость строительно-монтажных работ; C_l – затраты на логистику (транспортировка); C_e – эксплуатационные затраты на 30 лет; C_t – затраты на герметизацию, швы и финишную обработку; C_k – контроль качества, лабораторные испытания и приемка.

2. Композитный материал (геомембрана):

$$C_{\text{ц}} (\text{композит}) = C'_m + C'_s + C'_l + C'_e + C'_k,$$

где C'_m – стоимость композитной мембраны и анкеров; C'_s – стоимость монтажных и крепежных работ; C'_l – логистика (обычно 1 рейс); C'_e – эксплуатационные затраты на 30 лет; C'_k – контроль качества + герметизация швов

T бетонная плита $> T'$ композит

Выполнив анализ и расчеты, можно сделать вывод о том, что укладка композитного материала в 2,4 раза быстрее и требует на 194 рейсов меньше, а с экономической точки зрения применение композитного материала является в 3 раза более выгодным.

$$C = \frac{\text{Полная стоимость материалов и работ для облицовки}}{\text{Площадь канала}}, \text{ руб/м}^2$$

Таблица 7. Сравнительная таблица

Table 7. Comparative table

Материал Material	Материал + Монтаж (млн руб) Material + Installation (million rubles)	Доставка (руб) Delivery (rbl)	Итого (млн руб) Total (million rubles)	Количество рейсов Number of trips
Бетонные плиты Concrete slabs	90,7	388 000	90,49	194
Геомембрана Geomembrane	30,7	2000	30,702	1

Таблица 8. Срок службы и обслуживание

Table 8. Service life and maintenance

Материал Material	Срок службы, лет Service life, years	Обслуживание, млн руб Maintenance, million rubles	Затраты с учётом эксплуатации, млн Costs including operation, million
Бетонные плиты / Concrete slabs	20-30	16,6	107,09
Геомембрана / Geomembrane	30-50	4,2	34,902

$$\text{Сбет. плит} = \frac{107,09 \text{ млн руб.}}{8500 \text{ м}^2} = 12599, \text{ руб/м}^2$$

$$\text{Ском. мат} = \frac{34,902 \text{ млн руб.}}{8500 \text{ м}^2} = 4106, \text{ руб/м}^2$$

С (себестоимость + проводимые работы) ком. мат. < С (себестоимость + проводимые работы) бет. плит – в 3,06 раза.

Выводы и рекомендации заключаются в следующем:

– Геомембрана позволяет сократить затраты на этапе строительства примерно до 34%; существенно более низкими являются затраты на логистику: 1 рейс против 194.

– Более простой и быстрый монтаж.

– Эксплуатационные расходы в 3,95 раза меньше.

– Срок эксплуатации выше, чем с бетонными плитами.

Экономическая составляющая также играет ключевую роль. Первоначальные затраты на бетонные плиты могут казаться оправданными ввиду их кажущейся монументальности, но в долгосрочной перспективе частые ремонты и необходимость реконструкции делают этот вариант менее выгодным. Композитные материалы, напротив, требуют меньших вложений на этапе строительства и практически исключают затраты на обслуживание в первые 20-30 лет эксплуатации. Для сельскохозяйственных предприятий, которые часто работают с ограниченными бюджетами, это может стать решающим фактором [9].

Технологическая адаптивность – еще один аспект, который отличает композитные материалы. В условиях нестабильных грунтов или

сейсмической активности геомембрана благодаря своей гибкости компенсирует подвижки почвы без образования трещин. Бетонные плиты в таких условиях быстро теряют целостность, требуя дорогостоящего укрепления основания. Кроме того, композиты позволяют реализовывать сложные гидравлические профили каналов, тогда как монтаж бетонных плит ограничен их стандартными размерами и формой [10]. Однако у композитных материалов есть и ограничения.

Геомембраны являются чувствительными к механическим повреждениям при монтаже и эксплуатации, поэтому требуют аккуратной укладки и обязательного защитного слоя (песок, гравий, геотекстиль). Кроме того, в регионах с экстремальными температурами или агрессивными химическими средами необходимо тщательно подбирать тип полимера для геомембраны, чтобы избежать ее деградации [11].

Выводы

Проведенные исследования и экономические расчеты показывают, что для облицовки 1 км канала площадью 8500 м² с использованием бетонных плит потребуются общие затраты в 107,09 млн руб., а с применением композитных материалов – 34,902 млн руб. Из расчетов следует, что себестоимость облицовки 1 м² канала бетонной плитой составит 12599 руб., а себестоимость с использованием композитного материала – 4106 руб., то есть 1 м² облицовки канала из композитного материала в 3,06 раза дешевле, чем бетонная облицовка. Также при использовании композитных материалов в 2,34 раза увеличивается скорость укладки.

References

1. Abdrazakov F.F., Rukavishnikov A.A., Khalmetov A.A., Povarov A.V. (2019). Problems of Irrigation Channels and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies. 10.2991/isees-19.2019.73.
2. Koerner R.M., Koerner G.R. Durability and long-term performance of geomembranes: 30-year forensic analysis of field samples / Geosynthetic Institute. 2017. GRI Report #44. URL: <https://www.geomembrane.com/technical-info/durability/30-year-forensic-analysis.html> (дата обращения: 14.05.2025).
3. Абдразаков Ф.К. Применение геокомпозитных материалов для облицовки оросительных каналов / Ф.К. Абдразаков Э.Э. Сафин // Основы рационального природопользования: материалы X Нац. конф. с междунар. участием, Саратов, 15 ноября 2024 г. Саратов: СГСХА, 2024. С. 3-8. EDN: OEWOY
4. Ахметзянов Ф.Х. Классификация повреждений бетона, предпосылки оценки его остаточной несущей способности в строительных элементах бетона при отсутствии и наличии армирования с простым механическим нагружением // Известия КазГАСУ. 2009. № 2 (12).
5. Зверев А.О. Экспериментальные исследования работы геомембран / А.О. Зверев, М.П. Саинов //
1. Abdrazakov F.F., Rukavishnikov A.A., Khalmetov A.A., Povarov A.V. (2019). Problems of Irrigation Channels and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies. 10.2991/isees-19.2019.73.
2. Koerner R.M., Koerner G.R. Durability and long-term performance of geomembranes: 30-year forensic analysis of field samples / Geosynthetic Institute. – 2017. – GRI Report #44. URL: <https://www.geomembrane.com/technical-info/durability/30-year-forensic-analysis.html> (date of address: 14.05.2025).
3. Abdrazakov F.K. Application of geocomposite materials for lining irrigation channels / F.K. Abdrazakov, E.E. Safin // Fundamentals of rational nature management: materials of the X National Conference with international conferences participation, Saratov, November 15, 2024. Saratov: SGSHA, 2024. P. 3-8. EDN: OEWOY
4. Akhmetzyanov F.H. Classification of concrete damage, prerequisites for assessing its residual bearing capacity in concrete building elements in the absence and presence of reinforcement with simple mechanical loading // KazGASU News. 2009. № 2 (12).

Вестник евразийской науки. 2018. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-raboty-geomembran> (дата обращения: 14.05.2025).

6. Абдразаков Ф.К. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации / Ф.К. Абдразаков, А.А. Рукавишников, Э.Э. Сафин // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 2. С. 32-36. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-32-36. EDN: JGRZRN

7. Чернов А.Н. Противофильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления: дис. канд. техн. наук. М.: РУДН, 2014. 146 с. URL: <https://tekhnosfera.com/protivofiltratsionnye-konstruktsii-kanalov-i-vodoevov-s-primeneniem-geomembran-iz-polietilena-vysokogo-i-nizkogo-davleniy> (дата обращения: 14.05.2025).

8. Способ ремонта бетонных облицовок оросительных каналов: пат. RU2612419 C2 Российская Федерация. № 2015108263; заявл. 12.03.2015; опубл. 27.02.2017 / Е.И. Баев, А.А. Косиченко, А.П. Качанов. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2612419C2/ru> (дата обращения: 16.05.2025).

9. Баев О.А. Вопросы реконструкции крупных каналов и оценка их эффективности / О.А. Баев О.А., М.Ю. Косиченко // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 4. С. 287-301. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301. EDN: QMDUPX

10. Песков А.Н. Применение композитных материалов в современном строительстве / А.Н. Песков, Н.В. Шешенев // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., Рязань, 17-19 апреля 2019 г. – Рязань: Рязаньпроект, 2019. С. 213-215. EDN: LEBSGZ

11. Феоктистов Д.О. Влияние композитных материалов на долговечность и водонепроницаемость строительных конструкций // Актуальные исследования. 2022. № 13 (92). URL: <https://apni.ru/article/3930-vliyanie-kompozitnyh-materialov-na-dolgovechnost-i-vodonepronizhaemost-stroitelnyh-konstrukcij>

Об авторах

Фярид Кинжаевич Абдразаков, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»; <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>; abdrzakov.fk@mail.ru

Эмиль Эдиикович Сафин, аспирант, ассистент кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»; <https://orcid.org/0000-0003-3203-9703>; mister.safimil@yandex.ru

Андрей Алексеевич Рукавишников, канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»; <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>; andreirukavishn@gmail.com

Критерии авторства / Criteria of authorship

Абдразаков Ф.К., Сафин Э.Э., Рукавишников 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 / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.04.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2025

5. Zverev A.O. Experimental studies of geomembrane operation / A.O. Zverev, M.P. Sainov // Bulletin of Eurasian Science 2018. No. 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-raboty-geomembran> (date of address: 14.05.2025).

6. Abdrazakov F.K. Coating irrigation channels with innovative concrete sheets and adaptive methods of their operation / F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov E. E Safin // Melioration and water management. – 2023. – No. 2. – P. 32-36. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-32-36. EDN: JGRZRN

7. Chernov A.N. Antifiltration structures of channels and reservoirs using geomembranes made of high- and low-pressure polyethylene: Candidate of Technical Sciences, Moscow: RUDN University, 2014, 146 p. URL: <https://tekhnosfera.com/protivofiltratsionnye-konstruktsii-kanalov-i-vodoevov-s-primeneniem-geomembran-iz-polietilena-vysokogo-i-nizkogo-davleniy> (date of request: 14.05.2025).

8. Method of repair of concrete linings of irrigation channels: pat. RU2612419 C2 Russian Federation. No. 2015108263; application no. 12.03.2015; published on 27.02.2017 / E.I. Baev, A.A. Kosichenko, A.P. Kachanov. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2612419C2/ru> (date of address 14.05.2025).

9. Baev O.A., Kosichenko M.Y. Issues of reconstruction of large channels and assessment of their effectiveness / O.A. Baev, M.Y. Kosichenko // Land reclamation and hydraulic engineering. – 2021. – Vol. 11, No. 4. – P. 287-301. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301. EDN: QMDUPX

10. Peskov A.N., Sheshenev N.V. Application of composite materials in modern construction / A.N. Peskov, N.V. Sheshenev // New technologies in the educational process and production: materials of the XVII International Scientific and Technical Conference, Ryazan, April 17-19, 2019. Ryazan: Ryazanproject, 2019. P. 213-215. EDN: LEBSGZ

11. Feoktistov D.O. Influence of composite materials on durability and water resistance of building structures // Current research. 2022. № 13 (92). URL: <https://apni.ru/article/3930-vliyanie-kompozitnyh-materialov-na-dolgovechnost-i-vodonepronizhaemost-stroitelnyh-konstrukcij>

About the authors

Fyarid K. Abdrazakov, Honored Scientist of the Russian Federation, DSs (Tech), Professor, Professor of the Department of Hydro-Melioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex; <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>; abdrzakov.fk@mail.ru

Emil E. Safin, Postgraduate Student, Assistant at the Department of Hydro-Melioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex; <https://orcid.org/0000-0003-3203-9703>; mister.safimil@yandex.ru

Andrey A. Rukavishnikov, CSs (Eng), Associate Professor at the Department of Hydromelioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex; <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>; andreirukavishn@gmail.com

F.K. Abdrazakov, E.E. Safin, A.A. Rukavishnikov performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-60-64>

УДК 631.6.03:628.1:628.356.1



РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АЭРАТОРА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

П.А. Михеев[✉], Х. Исмаил

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

Аннотация. В настоящее время технические решения на основе использования возобновляемых источников энергии, в основном солнечной и ветровой, получают широкое развитие. Основными направлениями использования собственно солнечного излучения являются технологии получения тепловой энергии в водонагревательных установках и (или) электрической энергии с помощью фотоэлектрических преобразователей, объединенных в фотоэлектрические модули. В отрасли ветровой энергетики кинетическая энергия воздушных масс в атмосфере преобразуется в электрическую, механическую, тепловую и другие формы энергии. Современные принципы создания систем аэрации естественных водоемов с использованием возобновляемых источников энергии базируются в основном на традиционных технологиях преобразования энергии. Так, солнечная энергия преобразуется в электрическую с помощью фотоэлектрических преобразователей, а кинетическая энергия ветра – в механическую, с последующей подачей на энергетические установки нагнетания воздуха с нагнетанием в распределительную сеть аэраторов. Целью работы является теоретическое обоснование объема емкости-накопителя из условий формирования оптимальной концентрации кислорода в водоеме. В статье приведены результаты теоретических исследований, позволившие на основе уравнения состояния, примененного для термодинамической системы емкости-накопителя, а также с учетом гидродинамических условий работы устройства получить зависимость для определения объема емкости-накопителя конструкции, необходимого для устранения дефицита кислорода в воде водоема.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Ключевые слова: водоем, устройство для аэрации, солнечная энергия, емкость-накопитель, дефицит кислорода

Формат цитирования: Михеев П.А., Исмаил Х. Расчет параметров аэратора поверхностных водоемов на основе использования солнечной энергии // Природообустройство. 2025. № 4. С. 60-64. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-60-64>

Scientific article

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF A SURFACE WATER AERATOR BASED ON THE USE OF SOLAR ENERGY

P.A. Mikheev[✉], Kh. Ismaeil

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

Abstract. Currently, technical solutions based on the use of renewable energy sources, mainly solar and wind, are being widely developed. The main directions of using solar radiation proper are technologies for obtaining thermal energy in water heating installations and (or) electric energy using photovoltaic converters combined into photovoltaic modules. In the wind energy industry, the kinetic energy of air masses in the atmosphere is converted into electrical, mechanical, thermal and other forms of energy. Modern principles of creating aeration systems for natural reservoirs using renewable energy sources are based mainly on traditional energy conversion technologies. For example, solar energy is converted into electrical energy using photovoltaic converters, and kinetic wind energy is converted into mechanical energy, followed by air injection into the distribution network of aerators. The purpose of this work is to theoretically substantiate the volume of the storage tank from the conditions for the formation of an optimal oxygen

concentration in a reservoir. The article presents the results of theoretical studies that made it possible, based on the equation of state applied to the thermodynamic storage tank system, as well as taking into account the hydrodynamic operating conditions of the device, to obtain a dependence for determining the volume of the storage tank design necessary to eliminate oxygen deficiency in the reservoir water.

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of agreement No. 075-15-2022-317 dated April 20, 2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for state support for the creation and development of the world-class scientific center “Agrotechnologies of the Future”.

Keywords: reservoir, aeration device, solar energy, storage tank, oxygen deficiency

Format of citation: Mikheev P.A., Ismaeil H. Calculation of the parameters of a surface water aerator based on the use of solar energy // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 60-64. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-60-64>

Введение. Возобновляемыми источниками энергии принято считать источники, которые образуются на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе (в первую очередь – энергии Солнца), основными из которых являются собственно энергия солнечного излучения и энергия ветра [1].

Современные принципы создания систем аэрации естественных водоемов с использованием возобновляемых источников энергии базируются в основном на традиционных технологиях преобразования энергии. Так, солнечная энергия преобразуется в электрическую с помощью фотоэлектрических преобразователей, а кинетическая энергия ветра – в механическую, с последующей подачей на энергетические установки нагнетания воздуха с нагнетанием в распределительную сеть аэраторов [2-6].

При проектировании аэраторов тип и схема размещения устройств рассматриваются для конкретного водоема в зависимости от нормативов содержания кислорода в воде, назначения, а также с учетом температуры и глубины воды, наличия водных и надводных (затеняющих) растений, биохимического состава грунта ложа водоема, топографии дна с учетом энергетических показателей аэраторов [7]. При этом следует учитывать, что чем меньше диаметр пузырька и больше их количество, тем больше поверхность соприкосновения воздуха с водой и тем больше растворимость кислорода [8, 9].

Задача расчета заключается в определении основных параметров устройства, необходимых для обеспечения при его работе нормативных показателей качества воды с учетом солнечной инсоляции в климатических и гидрологических условиях поверхностного водоисточника. Элементом, обеспечивающим работоспособность устройства, является емкость-накопитель, в связи с чем цель работы заключается в теоретическом

обосновании объема емкости-накопителя из условий формирования оптимальной концентрации кислорода в водоеме.

Цель исследований: теоретическое обоснование объема емкости-накопителя из условий формирования оптимальной концентрации кислорода в водоеме.

Материалы и методы исследований. Принцип работы аэратора, в соответствии с патентом на полезную модель RU № 214200 [10], основан на использовании солнечной энергии. Расчетная схема устройства приведена на рисунке.

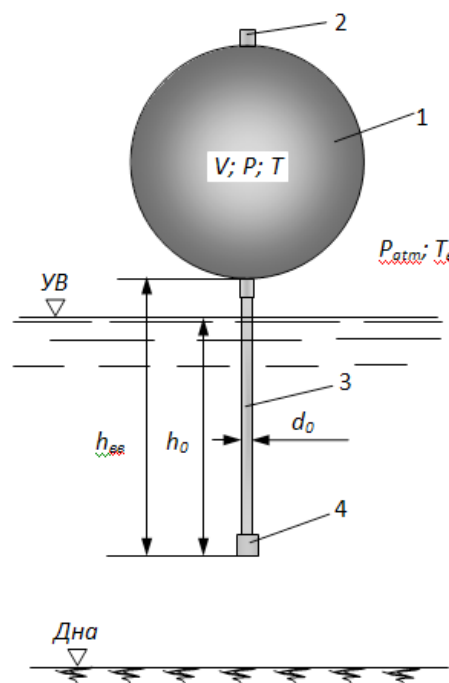


Рис. Расчетная схема аэратора (опорный элемент устройства не показан):

1 – емкость-накопитель; 2 – впускной клапан;
3 – воздуховод; 4 – выпускной клапан

Fig. Calculation scheme of the object aerator (the supporting element of the device is not shown)

1 – storage tank; 2 – inlet valve; 3 – air duct;
4 – outlet valve

Основным уравнением, устанавливающим связь между объемом, давлением и температурой воздуха в емкости-накопителе, является уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (1)$$

где P – давление газа, Па; V – объем газа, м³; n – количество вещества, моль; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль К); T – температура газа, К.

При $n = \frac{m}{M}$ уравнение (1) принимает вид:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (2)$$

где m – масса газа, кг; M – молярная масса воздуха, равная 0,029 кг/моль.

Запишем уравнение (2) при температуре воздуха T_1 внутри емкости-накопителя в момент выхода первого пузырька воздуха в воду как

$$P_1 \cdot V_1 = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T_1, \quad (3)$$

из которого получаем формулу для определения массы воздуха внутри емкости-накопителя (m_1):

$$m_1 = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot M}{R \cdot T_1}. \quad (4)$$

Аналогичным образом, используя уравнение (2), получим зависимость для определения массы воздуха внутри емкости-накопителя при температуре воздуха T_2 в момент выхода последнего пузырька в воду, то есть массу, оставшуюся внутри емкости-накопителя (m_2):

$$m_2 = \frac{P_2 \cdot V_2 \cdot M}{R \cdot T_2}. \quad (5)$$

В условиях рассматриваемой конструкции принимаются следующие допущения:

– объем аэратора в процессе работы устройства остается постоянным, изменением объема в результате температурного расширения материала корпуса пренебрегаем, $V_1 = V_2 = \text{const}$;

– в процессе работы аэратора установлено, что давление внутри емкости-накопителя при выходе первого и последнего пузырька практически не меняется, то есть изменением давления внутри конструкции в процессе работы пренебрегаем, $P_1 = P_2 = \text{const}$.

Тогда масса воздуха, выходящего из емкости-накопителя и поступающего в водоем, то есть на аэрацию $m_{\text{аэ.в}}$, будет равна разнице массы воздуха внутри емкости-накопителя в начале и в конце выхода воздуха:

$$m_{\text{аэ.в}} = m_1 - m_2 = \frac{PVM}{RT_1} - \frac{PVM}{RT_2} = \frac{PVM}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (6)$$

В уравнении (6) следует раскрыть величину давления в емкости-накопителе, создаваемого солнечным излучением в процессе работы аэратора.

В соответствии с расчетной схемой (рис.) давление внутри емкости-накопителя для начала выхода воздуха зависит от глубины погружения выходного отверстия (выпускного клапана) и потерь напора при движении воздуха в трубе воздуховода и при выходе в выпускном клапане.

Формула для определения давления воздуха внутри емкости-накопителя на момент выхода первого пузырька будет иметь вид:

$$P = P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w \text{ тр.}} + h_{w \text{ вк}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па; ρ_0 – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_0 – глубина погружения выходного отверстия воздуховода под уровень воды в водоеме, м; $h_{w \text{ тр.}}$ – потери напора на входе и при движении воздуха по длине воздуховода с учетом низкой скорости воздуха, малой длины трубы $h_{\text{вв}}$ и диаметра d_0 воздуховода. Потерями напора в воздуховоде пренебрегаем ($h_{w \text{ тр.}} = 0$); $h_{w \text{ вк}}$ – потери напора на выходе из выпускного клапана (рассеивателя) аэратора, зависящие от интенсивности подачи и расхода воздуха, для рассматриваемой конструкции могут быть приняты в пределах:

$$0,3 - 0,5 \text{ кПа.}$$

С учетом изложенного зависимость (7) принимает следующий вид:

$$P = P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w \text{ вк}}. \quad (8)$$

После преобразования (6) с учетом (8) масса воздуха, выходящего из емкости-накопителя, будет определена по формуле:

$$\Delta m = \frac{(P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w \text{ вк}}) VM}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right). \quad (9)$$

Как выше отмечалось, насыщение воды кислородом воздуха необходимо при наличии дефицита кислорода в водоеме, то есть разницы между нормативной $C_{\text{нор}}^{\text{O}_2}$ концентрацией кислорода, соответствующей условиям использования объекта, и текущей концентрацией кислорода $C_{\text{т}}^{\text{O}_2}$ [11], то есть в процессе аэрации обеспечит подачу требуемого количества, масса которого $m_{\text{аэ.в}}$ будет равна:

$$m_{\text{аэ.в}} = \frac{V_{\text{вод}} \cdot (C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{т}}^{\text{O}_2})}{m_{\text{O}_2} \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{вод}}$ – объем водоема, м³; $C_{\text{нор}}^{\text{O}_2}$ – нормативное содержание кислорода в воде водного объекта, для летнего периода работы исследуемого устройства $C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} = 6-8$ мг/л; $C_{\text{т}}^{\text{O}_2}$ – текущая концентрация кислорода в воде водного объекта, которая не может быть менее 2,0-2,5 мг/л; m_{O_2} – масса кислорода в 1 м³ воздуха, являющаяся величиной постоянной. В воздухе содержится 21% кислорода, или в 1 м³ воздуха – 0,21 м³ при плотности $\rho_{\text{O}_2} = 1,43 \text{ кг/м}^3$, $m_{\text{O}_2} = 0,21 \text{ м}^3 \cdot 1,43 \text{ кг/м}^3 = 0,3 \text{ кг}$ в 1 м³; $k_{\text{эф}}$ – коэффициент

эффективности переноса кислорода в воду, зависящий от типа и производительности аэратора, составляющий 20-60%, в среднем принимается 40% или 0,4; ρ_v – плотность воздуха, $\rho_v = 1,22 \text{ кг/м}^3$.

В то же время количество воздуха, выходящего из емкости-накопителя Δm , должно соответствовать количеству воздуха, требуемого для устранения дефицита кислорода в водоеме $m_{\text{аэ.в}}$. Приравняв правые части уравнений (9) и (10), получим

$$\frac{(P_{\text{атм}} + \rho_0 \cdot g \cdot h_0 + h_{w \text{ вк}}) VM}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) = \frac{V_{\text{вод}} \cdot (C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{т}}^{\text{O}_2})}{m_{\text{O}_2} \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \rho_v, \quad (11)$$

из которого объем емкости-накопителя рассматриваемой конструкции аэратора будет составит:

$$V = \frac{R \cdot V_{\text{вод}} \cdot (C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{т}}^{\text{O}_2}) \cdot \rho_v}{(P_{\text{атм}} + \rho_0 g h_0 + h_{w \text{ вк}}) \cdot M \cdot m_{\text{O}_2} \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right). \quad (12)$$

Результаты и их обсуждение. Таким образом, выполнив анализ, полагая в уравнении (12) V равным объему емкости-накопителя конструкции $V_{\text{аэр}}$ и приняв объем водоема как $V_{\text{вд}} = 1,0 \text{ м}^3$, а также подставив значения постоянных $R = 8,31 \text{ Дж/(моль К)}$,

$M = 0,029 \text{ кг/моль}$, $m_{\text{I}_2} = 0,3 \text{ кг в } 1,0 \text{ м}^3$, получим зависимость $V_{\text{аэр}}$ для аэрации 1 м^3 воды водоема:

$$V_{\text{аэр}} = 955,17 \cdot \frac{(C_{\text{нор}}^{\text{O}_2} - C_{\text{д}}^{\text{O}_2}) \cdot \rho_v}{(P_{\text{атм}} + \rho_0 g h_0 + h_{w \text{ вк}}) \cdot k_{\text{эф}}} \cdot \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right). \quad (13)$$

Очевидно, что под воздействием солнечных лучей из емкости-накопителя будет вытеснена какая-то доля объема воздуха, которая устанавливается по результатам исследований и характеризует коэффициент полезного действия конструкции.

Выводы

По результатам теоретических исследований, с использованием уравнения состояния для термодинамической системы емкости-накопителя с учетом гидродинамических условий работы устройства, получена зависимость для определения основного параметра конструкции – объема емкости-накопителя, необходимого для устранения дефицита кислорода в воде водоема. Это позволит производить расчет и выполнять проектирование устройств для аэрации придонных слоев воды в соответствии с назначением водного объекта.

References

1. Медведева Г.А. Разработка методов и средств использования возобновляемых источников энергии / Г.А. Медведева, З.Р. Хазипова // Инновации и инвестиции. № 4. 2018. С. 244-248. EDN: WAETUJ
2. Виссарионов В.И. Обзор аэрационных установок с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей / В.И. Виссарионов, Д.Н. Кунакин; МЭИ (ТУ). М.: 2006. 30 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 15.03.2006, № 269-B2006.
3. Лазарев-Марченко С.А. Разработка и исследование режимов плавучей аэрационной установки с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей // Вестник МЭИ. 2007, № 3. С. 88-93. EDN: IAMZBX
4. Каримов Б.Х. Ветровой аэратор для рыбных прудов и водоемов / Б.Х. Каримов, Н.И. Каримов, Д.К. Юлдашалиев, С.С. Турсунова // Точная наука, № 49. 2019, С. 29-32. EDN: BXXNCW
5. Патент № 52848 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Солнечная аэрационная система: авт.: В.И. Виссарионов, Д.Н. Кунакин. № 2005137198/22: заявл. 30.11.2005: опубл. 27.04.2006
6. Патент № 147539 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Солнечная мобильная аэрационная система: № 2014108251/05: / Н.Н. Крамчанинов, Т.Г. Болотских, С.М. Лутовинов [и др.]. заявл. 04.03.2014: опубл. 10.11.2014
7. Баженов В.И. Энергосбережение как критерий выбора аэратора / В.И. Баженов, А.Н. Эпов // НДТ. 2012. Спецвыпуск. С. 2-17.
8. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. М.: Наука, 1988. 168 с. ISBN 5-02-003356-1
1. Medvedeva G.A. Development of methods and means of using renewable energy sources / G.A. Medvedeva, Z.R. Khazipova // Innovation and investment. No. 4. 2018. P. 244-248. EDN: WAETUJ
2. Vissarionov V.I. Review of aeration installations powered by solar photovoltaic batteries / V.I. Vissarionov, D.N. Kunakin; MEI (TU). M.: 2006. 30 p. Dept. in VINITI RAS03/15/2006, No. 269- In 2006.
3. Lazarev-Marchenko S.A. Development and research of modes of a floating aeration plant powered by solar photovoltaic batteries / S.A. Lazarev-Marchenko // Bulletin of the MEI No. 3, 2007, P. 88-93. EDN: IAMZBX
4. Karimov B.H. Wind aerator for fish ponds and reservoirs / B.H. Karimov, N.I. Karimov, D.K. Yuldashaliev, S.S. Tursunova // Exact Science, No. 49. 2019, P. 29-32. EDN: BXXNCW
5. Patent, No. 52848 Russian Federation, IPC C02F 7/00. Solar aeration system: No. 2005137198/22: application no. 11/30/2005: published on 04/27/2006 / V.I. Vissarionov, D.N. Kunakin.
6. Patent, No. 147539 Russian Federation, IPC C02F 7/00. Solar mobile aeration system: No. 2014108251/05: application 04.03.2014: published 10.11.2014 / N.N. Kramchaninov, T.G. Bolotskikh, S.M. Lutovinov [et al.].
7. Bazhenov V.I. Energy saving as a criterion for choosing an aerator / V.I. Bazhenov, A.N. Epov // NDT. 2012. Special issue. pp. 2-17.
8. Brekhovskikh V.F. Hydrophysical factors of the formation of the oxygen regime of reservoirs / V.F. Brekhovskikh M.: Nauka, 1988. 168 p.

9. Караичев И.Е. Совершенствование методов расчета аэрации водных объектов. Дисс. канд. техн. наук / И.Е. Караичев ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» М.: 2019. 125 с.

10. Патент № 214200 Российская Федерация, МПК C02F 7/00, B01F 23/231. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2022112382: заявл. 06.05.2022 / В.В. Петрашкевич, П.А. Михеев, Д.М. Бенин, Исмаил Х.А., Петрашкевич А.В., Мунтяну Д.: опубл. 14.10.2022. EDN: GSPJDW

11. Ерина О.Н. Режим растворенного кислорода в стратифицированных водохранилищах Москворецкой системы водоснабжения г. Москвы. / О.Н. Ерина Автореф. ... канд. географ. наук. г. Москва. 2015. 25 с.

Об авторах

Павел Александрович Михеев, д-р техн. наук, профессор; AuthorID: 632792, <https://orcid.org/0000-0003-2041-1790>; mikheev.pa@gmail.com

Хуссейн Исмаил, аспирант: huseinismaeil93@gmail.com

9. Karaichev I.E. Improvement of methods for calculating the aeration of water bodies. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences/ Karaichev National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow: 2019. 125 p.

10. Patent, No. 214200 Russian Federation, IPC C02F 7/00, B01F 23/231. Device for aeration of bottom layers of water: No. 2022112382: application 05/06/2022: published 10/14/2022. EDN: GSPJDW. / V.V. Petrashkevich, P.A. Mikheev, D.M. Benin, Ismail H.A.A., Petrashkevich A.V., Munteanu D.

11. Er O.N. Regime of dissolved oxygen in stratified reservoirs of the Moskvoresky water supply system in Moscow. / O.N. Er Abstract. ... Candidate of Geographical Sciences. the city of Moscow. 2015. 25 p.

About the authors

Pavel A. Mikheev, DScs (Tech), Professor; AuthorID: 632792, <https://orcid.org/0000-0003-2041-1790>, mikheev.pa@gmail.com

Hussein Ismaeil, post graduate student; huseinismaeil93@gmail.com

Критерии авторства / Authorship criteria

Исмаил Х., Михеев П.А. провели теоретические исследования по результатам которых написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of the authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 10.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 14.08.2025

Ismail Kh., Mikheev P.A. conducted theoretical research on the results of which they wrote the manuscript. They have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-65-72>

УДК 633.34



АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

М.Е. Бельшкينا

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

Аннотация. Цель работы – оценить влияние предпосевной подготовки посевного материала яровой пшеницы и ячменя ярового посредством воздействия электромагнитного облучения на посевные качества семян, параметры роста, развития и фотосинтетическую деятельность растений, структуру урожая и биохимический состав зерна. В статье рассмотрены вопросы воздействия электромагнитного воздействия на рост, развитие и фотосинтетическую деятельность яровых зерновых культур: пшеницы и ячменя. Обработка семян сельскохозяйственных культур низкочастотными магнитными и электрическими импульсами, наряду с традиционными операциями по предпосевной подготовке, способна активизировать ростовые и качественные характеристики посева. Были проанализированы лабораторная и полевая всхожесть, показатели фотосинтетической деятельности, структура урожая и биохимический состав семян. Установлено, что электромагнитное облучение оказывает стимулирующее воздействие на посевной материал яровой пшеницы и ячменя ярового и способствует повышению полевой всхожести. Требуется дальнейшего исследования предполагаемая тенденция ускорения перехода к генеративному развитию у сортов яровой пшеницы и ячменя ярового, семена которых подверглись электромагнитному воздействию перед посевом. Ввиду сформировавшихся благоприятных гидротермических условий в период формирования и налива зерна не было выявлено значимых различий между сортами и культурами по динамическим параметрам роста, развития и фотосинтетической деятельности. Биологическая урожайность изучаемых сортов зерновых культур значительно варьировала по вариантам и составила у яровой пшеницы 6,1-11,0 т/га, у ячменя ярового – 2,9-10,3 т/га. Максимальная урожайность была зафиксирована у яровой пшеницы сорта Эстер в варианте с облучением, минимальная – у сорта Радмира в варианте без облучения, составив 11,0 и 6,1 т/га соответственно. Наибольшая биологическая урожайность у ячменя ярового была у сорта Магнит в обоих вариантах, составив 8,2-10,3 т/га, у других сортов урожайность составила в среднем 2,9-3,2 т/га.

Ключевые слова: яровая пшеница, яровой ячмень, электромагнитное облучение, всхожесть, фотосинтетическая деятельность, структура урожая, биохимический состав

Формат цитирования: Бельшкينا М.Е. Анализ влияния электрофизического воздействия на фотосинтетическую деятельность и параметры структуры урожая зерновых сельскохозяйственных культур // Природообустройство. 2025. № 4. С. 65-72. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-65-72>

Scientific article

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTROPHYSICAL EFFECTS ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND PARAMETERS OF THE GRAIN CROP STRUCTURE

M.E. Belyshkina

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia

Abstract. The aim of the work is to evaluate the effect of pre-sowing preparation of spring wheat and spring barley crops, through exposure to electromagnetic radiation, on seed quality, growth parameters, development and photosynthetic activity of plants, crop structure and biochemical composition of grain. The article discusses the effects of electromagnetic radiation on the growth, development and photosynthetic activity of spring grain crops – wheat and barley. The treatment of agricultural seeds with low-frequency magnetic and electric pulses, along with traditional pre-sowing operations, is able to activate the growth and quality characteristics of sowing. Laboratory and field germination, indicators of photosynthetic activity, crop structure and biochemical composition of seeds were analyzed. It has been established that

electromagnetic radiation has a stimulating effect on the seed material of spring wheat and spring barley and helps to increase field germination. The alleged tendency to accelerate the transition to generative development in spring wheat and spring barley varieties, whose seeds were exposed to electromagnetic radiation before sowing, requires further investigation. Due to the favorable hydrothermal conditions during the period of grain formation and filling, no significant differences were found between varieties and crops in terms of dynamic parameters of growth, development, and photosynthetic activity. The biological yield of the studied grain varieties varied significantly by variants and amounted to 6.1-11.0 t/ha for spring wheat, 2.9-10.3 t/ha for spring barley. The maximum yield was recorded for spring wheat of the Ester variety in the irradiated variant, the minimum for the Radmir variety in the non-irradiated variant, and amounted to 11.0 and 6.1 t/ha, respectively. The highest biological yield of spring barley was in the Magnit variety in both variants, amounting to 8.2-10.3 t/ha, while in other varieties the yield averaged 2.9-3.2 t/ha.

Keywords: spring wheat, spring barley, electromagnetic irradiation, germination, photosynthetic activity, crop structure, biochemical composition

Format of citation: Belyshkina M.E. Analysis of the effect of electrophysical effects on photosynthetic activity and parameters of the grain crop structure // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 65-72. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-65-72>

Введение. Применение электрофизических способов воздействия на посевной материал сельскохозяйственных культур рассматривается многими учеными как фактор, способствующий интенсификации ростовых процессов на разных этапах развития: от прорастания и появления всходов до формирования урожая [1-3]. Электрофизическое воздействие обусловлено электромагнитными колебаниями различной частоты, которые согласуются с биоэлектрическими потенциалами в растительном организме, приводя к различным формам отклика растения, которые проявляются в различных формах его жизнедеятельности, в том числе в хозяйственно ценных [4].

По данным многочисленных исследований, наиболее доступным и менее энергозатратным способом электрофизической стимуляции является электромагнитное воздействие. Механизм воздействия данного вида стимуляции обусловлен усилением водопоглотительной функции корневой системы, активизации дыхательных процессов на начальных стадиях развития проростка. Активизация ростовых процессов на ранней стадии способствует обеспечению устойчивости растений к угнетающему воздействию сорняков, болезней и вредителей в процессе вегетации [5]. Однако в настоящее время механизм электрофизического воздействия на семена недостаточно изучен [6].

Цель исследований: оценить влияние предпосевной подготовки посевного материала яровой пшеницы и ячменя ярового посредством воздействия электромагнитного облучения на посевные качества семян, параметры роста, развития и фотосинтетическую деятельность растений, структуру урожая и биохимический состав зерна.

Материалы и методы исследований. Исследования по агроэкологическому испытанию

сортов яровой пшеницы и ячменя ярового проводились в 2023 г. на экспериментальной базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», расположенного в Рязанском районе, с. Подвязье. Почва опытного участка темно-серая лесная, тяжелосуглинистая. Реакция почвенного раствора pH_{сол.} (ГОСТ 26483) – 5,2, содержание гумуса по методу Тюрина (ГОСТ 26213) – 5,8%. Содержание подвижного фосфора по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011) – 191,4 мг/кг, содержание обменного калия по Масловой (ГОСТ 26210) – 108,5 мг/кг, азота нитратного – 8,4 мг/кг (ГОСТ 26951-86), азота аммонийного – 1,57 мг/кг почвы (ГОСТ 26489-85). Режим облучения семян имел следующие параметры: частота колебаний электромагнитного поля (F) – 16 Гц; индукция магнитного поля (B) – 10 мТл; период облучения (T) – 25 мин.

Посев проводился в оптимальные сроки при прогревании почвы на глубине заделки семян на уровне 12-15°C. Способ посева – обычный рядовой с шириной междурядий 15 см, повторность – четырехкратная, норма высева – 6 млн всхожих семян на 1 га, размещение делянок – рендомизированное, площадь учетной делянки – 18 м². В ходе исследований определены основные показатели фотосинтетической деятельности, проанализирована структура урожая и установлена биологическая урожайность.

Объектом исследований явились подвергнутые электромагнитному воздействию семена зерновых сельскохозяйственных культур, относящихся к хлебам I группы: яровой пшеницы (сорта Эстер, Радмира, Маэстро, Рима) и ячменя ярового (сорта Магнит, Златояр, Надежный, Знатный).

Все изучаемые сорта относятся к группе среднеспелых с продолжительностью

вегетационного периода от 71 до 107 дней [7]. Закладка полевых опытов, выполнение биометрических исследований, учетов и обработка полученных данных выполнялись в соответствии с требованиями методики полевого опыта [8-10].

В качестве основных агроклиматических показателей, характеризующих природно-ресурсный потенциал территории, были приняты тепло- и влагообеспеченность. Были рассчитаны среднемесячные температуры воздуха и суммы осадков по месяцам и за вегетационный период, суммы активных температур, гидротермические коэффициенты [11].

Агрохимические показатели почвы определялись с использованием следующих методов: реакция почвенного раствора рН_{сол.} – по ГОСТ 26483; содержание гумуса – по методу Тюрина (ГОСТ 26213), подвижного фосфора – по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011), обменного калия – по Масловой (ГОСТ 26210), азота нитратного – по ГОСТ 26951-86, азота аммонийного – по ГОСТ 26489-85.

Метеорологические условия вегетационного периода 2023 г. были достаточной засушливостью, количество выпавших осадков за вегетацию составило 156 мм, а значение ГТК лишь в июле составило 1,3, в остальные месяцы не превышало 0,6. Начиная с мая, когда проводился посев, и до III декады июня осадки практически не выпадали, при этом температура воздуха составляла 15-20°C. В то же время фазы генеративного развития – выход в трубку, колошение и молочная спелость – пришлось на достаточно благоприятные метеорологические условия. Начиная с III декады июня и до конца июля количество осадков соответствовало среднееголетним значениям для региона или даже превышало их на 12-20 мм.

Режим облучения для полевого эксперимента обусловлен тем фактором, что значение частоты устанавливалось с использованием фиксированных показателей двух приборов, выбрана частота 16 Гц для обеспечения сходного количества поступающей энергии. Значение времени облучения было установлено исходя из полученных временных отрезков с наилучшими показателями отклика семян при проращивании – 20 и 30 мин; остановились на отрезке времени 25 мин, чтобы не сообщать семенам дополнительную энергию и одновременно с этим находиться в пределах оптимальных показателей. Значение магнитной индукции определили, исходя из требований к выбранной частоте; допустимо для излучателей использовать 2-20 мТл. Во время проведения эксперимента по подбору оптимального

режима частот и индуктивностей остановились на режиме 10 мТл.

Результаты и их обсуждение. Засушливые условия в начале вегетационного периода зачастую приводят к появлению изреженных и неравномерных всходов. Посев в 2023 г. проводился 10 мая, когда за первую декаду выпало только 2,4 мм осадков, что на 8,6 мм ниже среднееголетних значений. Однако в почве содержалось достаточное количество влаги, так как в третьей декаде апреля выпало 35,8 мм осадков, что выше среднееголетних значений на 25,8 мм.

Благодаря структуре почвы и накопленной влаге полевая всхожесть составила от 77 до 90%. Наименьшие значения полевой всхожести были у сорта ячменя ярового Знатный, что скорее всего зависело от качества семян, так как лабораторная всхожесть этого сорта также была невысокой и составила 82% (табл. 1).

Облученные семена показали лучшую полевую всхожесть, которая была на 4% выше. Аналогичная тенденция была отмечена у сорта яровой пшеницы Эстер, когда полевая всхожесть составила 85% у необлученных семян и 89% – у облученных. Подобные различия также были выявлены у сортов яровой пшеницы Радмира и Маэстро, а также у сорта ячменя ярового Магнит.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что воздействие электромагнитных полей оказывает стимулирующее воздействие на семена зерновых культур и способствует повышению полевой всхожести на 2-4%. Однако данное заключение требует проверки и подтверждения в следующие вегетационные периоды.

В процессе фотосинтетической деятельности посевов образуется сухое вещество растений и формируется потенциальная урожайность. В то же время следует отметить, что данная взаимосвязь не является прямой. Поэтому большую роль при проведении полевых исследований играет оценка продукционного процесса, а именно показателей, характеризующих фотосинтетическую деятельность растений в посевах [12].

На адаптацию растений к условиям вегетационного периода оказывают влияние различные факторы, среди которых – температурно-влажностный режим, параметры обработки почвы, плотность агроценоза и т.д. Плотность посева определяет морфологические, физиологические и биохимические характеристики клеточных адаптивных механизмов растений к переносу воды, ее дефициту, который проявляется непосредственно на молекулярном уровне, связанном с прямой защитной реакцией на стресс,

Таблица 1. Лабораторная и полевая всхожесть сортов яровой пшеницы и ячменя ярового

Table 1. Laboratory and field germination of spring wheat and spring barley varieties

Культура Crop	Сорт Variety	Энергия про- растания, % Germination energy, %	Лабораторная всхожесть, % Laboratory germination, %	Полевая всхожесть, % Field germination, %
Яровая пшеница Spring wheat	Эстер (к) / Esther (k)	93	94	85
	Эстер (о) / Esther (o)	93	93	89
	Радмира (к) / Radmira (k)	94	95	89
	Радмира (о) / Radmira (o)	94	95	90
	Маэстро (к) / Maestro (k)	92	93	86
	Маэстро (о) / Maestro (o)	92	93	88
	Рима (к) / Rima (k)	92	94	82
	Рима (о) / Rima (o)	92	94	82
Ячмень яровой Spring barley	Магнит (к) / Magnet (k)	92	93	86
	Магнит (о) / Magnet (o)	92	93	89
	Златояр (к) / Zlatoyar (k)	92	92	84
	Златояр (о) / Zlatoyar (o)	92	92	84
	Надежный(к) / Reliable (k)	91	92	86
	Надежный (о) / Reliable (o)	91	92	86
	Знатный (к) / Noble (k)	82	85	76
	Знатный (о) / Noble (o)	82	85	80

вызванный недостатком воды в клетках. В опытах, проведенных с озимой пшеницей, была отмечена ее способность быстро начинать рост и ассимиляцию; в то же время было отмечено заметное изменение продолжительности фенофаз в зависимости от метеорологической ситуации в течение вегетации [13].

Наибольшая урожайность сельскохозяйственных культур может быть обеспечена при создании следующих оптимальных условий: увеличение листовой поверхности в посевах; удлинение времени активной работы фотосинтетического аппарата в течение каждых суток и вегетационного периода (поддержка агротехникой и минеральными удобрениями); обеспечение высокой интенсивности и продуктивности фотосинтеза, максимальных суточных приростов сухого вещества; создание условий для максимального притока продуктов фотосинтеза из всех фотосинтезирующих органов в хозяйственно важные органы и высокого уровня использования ассимилянтов в ходе биосинтетических процессов.

Продолжительность вегетационного периода составила 87-91 день у яровой пшеницы и 79-85 дней у ячменя ярового. Культуры имели небольшие различия по продолжительности генеративных периодов. У всех исследуемых сортов яровой пшеницы сокращалась в среднем на 3-4 дня продолжительность периода кушения – выхода в трубку в вариантах с электромагнитным воздействием на семена перед

посевом. У сортов ячменя ярового такая тенденция не была выявлена.

Таким образом, требует дальнейшего наблюдения предполагаемая тенденция ускорения перехода к генеративному развитию у сортов зерновых культур, семена которых подверглись электромагнитному воздействию перед посевом.

Все исследуемые сорта созрели во II декаде августа; установившиеся погодные условия позволили провести уборку в необходимый срок. Прогностическим показателем потенциальной продуктивности растений в период вегетации является площадь листовой поверхности отдельного растения и агроценоза. В целом динамика формирования листовой поверхности агроценоза достигала максимальных значений в фазу колошения, составив у яровой пшеницы 22,3-25,8 тыс. м²/га, у ярового ячменя – 17,8-18,5 тыс. м²/га (рис. 1). Максимальные значения площади листовой поверхности сформировал сорт яровой пшеницы Маэстро (25,6-25,8 тыс. м²/га). Все сорта ячменя ярового показали схожие значения нарастания листовой поверхности; достоверных различий по динамике нарастания листовой поверхности в зависимости от электромагнитного воздействия не выявлено.

Важным показателем фотосинтетической деятельности посевов является чистая продуктивность фотосинтеза, которая не всегда находится в прямой зависимости от величины урожая. В опыте с яровой пшеницей наибольшая

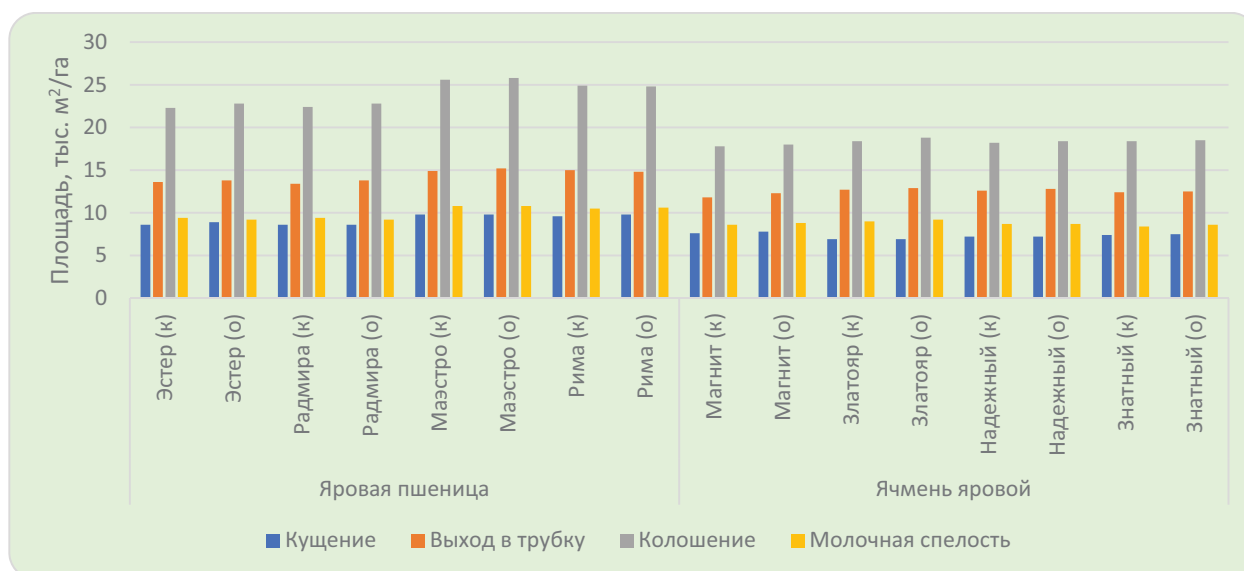


Рис. 1. Динамика нарастания площади листовой поверхности яровой пшеницы и ячменя ярового

Fig. 1. Dynamics of the increase in the leaf surface area of spring wheat and spring barley

чистая продуктивность фотосинтеза была у сортов Эстер и Радмира, составив 7,6-8,3 г/м² в сутки (табл. 2). У ярового ячменя чистая продуктивность фотосинтеза была ниже, составив по сортам 6,2-6,8 г/м² в сутки. Сортных отличий у ячменя ярового выявлено не было – так же, как и в вариантах с облучением и без облучения.

Структура урожая и урожайность являются результирующим показателем при оценке воздействия различных факторов на рост и развитие растений. Наибольшая масса зерен с 1 растения была выявлена у сортов яровой пшеницы Эстер и Рима в вариантах с облучением, составив 2,90 и 2,75 г соответственно (табл. 3). У ячменя ярового максимальная масса зерен с 1 растения была зафиксирована у сорта Магнит в варианте без облучения и составила 2,70 г; остальные сорта уступали по этому показателю в среднем на 25-35%.

Масса 1000 зерен варьировала по сортам яровой пшеницы от 38 до 45 г, ячменя ярового – от 37 до 53 г. Максимальная масса 1000 зерен была зафиксирована у яровой пшеницы сортов Эстер (вариант с облучением) и Маэстро (вариант без облучения), составив 45 г, и у ячменя ярового сорта Магнит в варианте с облучением, составив 53 г.

Биологическая урожайность изучаемых зерновых культур значительно варьировала по вариантам и составила у яровой пшеницы 6,1-11,0 т/га, у ячменя ярового – 2,9-10,3 т/га. Максимальная урожайность была зафиксирована у яровой пшеницы сорта Эстер (вариант с облучением), минимальная – у сорта Радмира (вариант

без облучения), составив 11,0 и 6,1 т/га соответственно. Наибольшая биологическая урожайность у ячменя ярового была у сорта Магнит в обоих вариантах, составив 8,2-10,3 т/га, что обусловлено большей массой зерен на 1 растении; другие сорта значительно уступали, и урожайность составила в среднем 2,9-3,2 т/га.

В результате биохимического анализа зерна было установлено содержание белка и жира в семенах изучаемых культур, а также содержание влаги, клетчатки, золы и крахмала. Различия между сортами яровой пшеницы по содержанию белка в зерне достигали 2-3%, ячменя ярового – 1,5-2%. Наибольшее содержание белка было зафиксировано у сорта Эстер, составив 15,22% в варианте без облучения и 15,31% в варианте с облучением. У ячменя ярового наибольшее содержание белка было отмечено в зерне сорта Магнит в варианте с облучением, составив 11,70%. Однако различия между вариантами с облучением и без облучения не были статистически значимыми.

Наибольшее содержание жира в зерне было зафиксировано также у сорта яровой пшеницы Эстер, составив 2,55% в варианте без облучения и 2,49% в варианте с облучением; у ячменя ярового наибольшее содержание жира было в зерне сорта Надежный, составив 1,78 и 1,67% соответственно. Таким образом, по содержанию жира также достоверных различий между вариантами не было выявлено.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что электромагнитное облучение оказывает стимулирующее воздействие на посевной

Таблица 2. Основные показатели фотосинтетической деятельности сортов яровой пшеницы и ячменя ярового

Table 2. The main indicators of photosynthetic activity of spring wheat and spring barley varieties

Культура <i>Crop</i>	Сорт <i>Variety</i>	Максимальная площадь листьев, тыс. м ² /га <i>Maximum leaf area, thousand m²/ha</i>	Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² дней/га <i>Photosynthetic potential, thousand m² days/ha</i>	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² в сутки <i>Net productivity of photosynthetic processes, g/m² per day</i>	Максимальная сухая биомасса, т/га <i>Maximum dry biomass, t/ha</i>
Яровая пшеница / <i>Spring wheat</i>	Эстер (к) <i>Esther (k)</i>	22,3	918,4	8,3	5,24
	Эстер (о) <i>Esther (o)</i>	22,8	964,8	7,8	5,34
	Радмира (к) <i>Radmira (k)</i>	22,4	958,6	7,9	5,87
	Радмира (о) <i>Radmira (o)</i>	22,8	965,8	7,6	5,96
	Маэстро(к) <i>Maestro(k)</i>	25,6	1086	7,4	6,75
	Маэстро(о) <i>Maestro(o)</i>	25,8	1098	7,2	6,84
	Рима (к) <i>Rima (to)</i>	24,9	984,8	7,5	5,78
	Рима (о) <i>Rima (o)</i>	24,8	980,2	7,6	5,84
Ячмень яровой / <i>Spring barley</i>	Магнит (к) <i>Magnet (k)</i>	17,8	756,5	6,2	4,27
	Магнит (о) <i>Magnet (o)</i>	18,0	786,3	6,5	4,20
	Златояр (к) <i>Zlatoyar (k)</i>	18,4	793,6	6,7	3,98
	Златояр (о) <i>Zlatoyar (o)</i>	18,8	796,8	6,8	4,08
	Надежный(к) <i>Reliable (k)</i>	18,2	785,1	6,4	4,26
	Надежный(о) <i>Reliable (o)</i>	18,4	788,5	6,5	4,28
	Знатный (к) <i>Noble (k)</i>	18,4	790,7	6,6	4,38
	Знатный (о) <i>Noble (o)</i>	18,5	792,4	6,8	4,30
НСР ₀₅		0,94	38,4	0,32	0,28

материал яровой пшеницы и ячменя ярового и способствует повышению полевой всхожести. Требуется дальнейшего исследования предполагаемая тенденция ускорения перехода к генеративному развитию у сортов яровой пшеницы и ячменя ярового, семена которых подверглись электромагнитному воздействию перед посевом.

Ввиду сформировавшихся благоприятных гидротермических условий в период формирования и налива зерна не было выявлено значимых различий между сортами и культурами по динамическим параметрам роста, развития и фотосинтетической деятельности.

Биологическая урожайность изучаемых сортов зерновых культур значительно варьировала по вариантам и составила у яровой пшеницы 6,1-11,0 т/га, у ячменя ярового – 2,9-10,3 т/га. Максимальная урожайность была зафиксирована у яровой пшеницы сорта Эстер в варианте с облучением, минимальная – у сорта Радмира в варианте без облучения, составив 11,0 и 6,1 т/га соответственно. Наибольшая биологическая урожайность у ячменя ярового была у сорта Магнит в обоих вариантах, составив 8,2-10,3 т/га; у других сортов урожайность составила в среднем 2,9-3,2 т/га.

Таблица 3. Элементы структуры урожая и урожайность сортов яровой пшеницы и ячменя ярового

Table 3. Elements of the crop structure and yield of spring wheat and spring barley varieties

Культура Crop	Сорт Variety	Высота растений, см Plant height, cm	Число колосьев, шт./раст. Number of ears, pcs./plant.	Число зерен в колосе, шт./раст. Number of grains per ear, pcs./plant.	Масса зерен, г/раст. Grain weight, g/plant.	Масса 1000 зерен, г Weight of 1000 grains, g	Биологическая урожайность, т/га Biological yield, t/ha
Яровая пшеница / Spring wheat	Эстер (к) Esther (k)	77	1,9	32,6	2,74	41	10,4
	Эстер (о) Esther (o)	80	1,6	39,1	2,90	45	11,0
	Радмира (к) Radmira (k)	84	1,1	36,1	1,57	41	6,1
	Радмира (о) Radmira (o)	79	1,4	33,5	1,99	38	7,6
	Маэстро (к) Maestro (k)	82	1,1	35,5	1,76	45	6,7
	Маэстро (о) Maestro (o)	82	1,2	32,1	1,70	44	6,5
	Рима (к) Rima (k)	84	1,6	37,7	2,61	44	9,9
	Рима (о) Rima (o)	84	1,5	42,8	2,75	41	10,5
Ячмень яровой / Spring barley	Магнит (к) Magnet (k)	56	3,5	14,1	2,70	49	10,3
	Магнит (о) Magnet (o)	58	3,6	12,6	2,16	53	8,2
	Златояр (к) Zlatoyar (k)	63	2,1	18,8	1,74	45	6,6
	Златояр (о) Zlatoyar (o)	53	1,1	16,1	0,83	45	3,2
	Надежный (к) Reliable (k)	42	1,5	14,1	0,84	40	3,2
	Надежный (о) Reliable (o)	40	1,2	14,1	0,78	48	2,9
	Знатный (к) Noble (k)	49	1,1	15,9	0,80	37	3,0
	Знатный (о) Noble (o)	46	1,0	16,7	0,76	47	2,9
НСР ₀₅		3,5	0,06	1,4	0,05	2,4	0,32

Список использованных источников

1. Козырский В.В. Влияние предпосевной обработки в магнитном поле на посевные качества семян сельскохозяйственных культур / В.В. Козырский, В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 132-136.
2. Barishev M.G., Dzhimak S.S., Kasyanov G.I., Shashkov D.I. The influence of low frequency electromagnetic field on the agricultural crops seeds germination // Journal of Agricultural Science and Technology. 2012. T. 2. № 3. Pp. 385-390.
3. Semenov A., Kozhushko G., Sakhno T. Influence of UV radiation in pre-sowing treatment of seeds of crops // Technology audit and production reserves. 2019. T. 1. № 3 (45). Pp. 30-32.

References

1. Kozyrsky V.V. The influence of pre-sowing treatment in a magnetic field on the sowing qualities of agricultural seeds / V.V. Kozyrsky, V.V. Savchenko, A.Yu. Sinyavsky // Bulletin of RES. 2017. No. 2 (27). P. 132-136.
2. Barishev M.G., Dzhimak S.S., Kasyanov G.I., Shashkov D.I. The influence of low frequency electromagnetic field on the agricultural crops seeds germination // Journal of Agricultural Science and Technology. 2012. Vol. 2. No. 3. P. 385-390.
3. Semenov A., Kozhushko G., Sakhno T. Influence of UV radiation in pre-sowing treatment of seeds of crops // Technology audit and production reserves. 2019. Vol. 1. No. 3 (45). P. 30-32.

4. Рубцова Е.И. Использование физических факторов в сельском хозяйстве / Е.И. Рубцова, Ю.А. Безгина, В.Н. Авдеева, и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 84-86.

5. Хайновский В.И. Предпосевная стимуляция семян сои импульсным электрическим полем / В.И. Хайновский, Г.П. Стародубцева, Е.И. Рубцова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 10. С. 17-18.

6. Дорохов А.С. Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле / А.С. Дорохов, М.Е. Чаплыгин, А.Г. Аксенов др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 4. С. 4-11.

7. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений // Электронный ресурс: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (Дата обращения: 11.10.2023 г.)

8. Альт В.В. Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты / В.В. Альт, С.П. Исакова // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 4. С. 12-18. EDN: GQRORK

9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1989. 335 с.

10. Шитикова А.В. Технология производства продукции растениеводства: учебное пособие / А.В. Шитикова, М.Е. Бельшклина, В.Н. Мельников. М.: Изд-во РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2018. 150 с. EDN: DGFVZV

11. Belyshkina M., Zagoruiko M., Mironov D., Bashmakov I., Rybalkin D., Romanovskaya A. The study of possible soybean introduction into new cultivation regions based on the climate change analysis and the agro-ecological testing of the varieties // Agronomy. 2023. Т. 13. № 2. С. 610.

12. Бельшклина М.Е. Биология и морфология полевых культур. Учебное пособие. Иркутск: Изд-во ООО «Мегапринт». 2018. 139 с.

13. Чаплыгин М.Е. Закономерности влияния густоты посева озимой пшеницы на ее урожайность / М.Е. Чаплыгин Э.В. Жалнин, Л.С. Шибряева, А.В. Подзоров // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. № 4. С. 490-507. EDN: SBDKV

4. Rubtsova E.I. The use of physical factors in agriculture / E.I. Rubtsova Yu.A. Bezgina, V.N. Avdeeva. and others // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. 2015. Vol. 29. No. 9. P. 84-86.

5. Khainovsky V.I. Pre-sowing stimulation of soybean seeds with a pulsed electric field / V.I. Khainovsky, G.P. Starodubtseva, E.I. Rubtsova // Mechanization and electrification of agriculture. 2007. No. 10. P. 17-18.

6. Dorokhov A.S. Processing of grain seeds in a low-frequency electromagnetic field / A.S. Dorokhov, M.E. Chaplygin, A.G. Aksenov et al. // Agricultural machinery and technology. 2023. Vol. 17. No. 4. P. 4-11.

7. The State Register of breeding achievements approved for use. Volume 1. Plant varieties // Electronic resource: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (Date of request: 11.10.2023)

8. Alt V.V. Planning of work in the cultivation of grain crops: software components / V.V. Alt, S.P. Isakova // Agricultural machinery and technology. 2023. Vol. 17. No. 4. P. 12-18. EDN: GQRORK

9. Dospekhov B.A. Methodology of field experience. Moscow: Kolos, 1989. 335 p.

10. Shitikova A.V. Technology of crop production: textbook / A.V. Shitikova, M.E. Belyshkina, V.N. Melnikov. Moscow: Publishing House of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2018. 150 p. EDN: DGFVZV

11. Belyshkina M., Zagoruiko M., Mironov D., Bashmakov I., Rybalkin D., Romanovskaya A. The study of possible soybean introduction into new cultivation regions based on the climate change analysis and the agro-ecological testing of the varieties // Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. 610 p..

12. Belyshkina M.E. Biology and morphology of field crops. The training manual. Irkutsk: Publishing house of Megaprint LLC. 2018. 139 p.

13. Chaplygin M.E. Patterns of influence of winter wheat sowing density on its yield / M.E. Chaplygin E.V. Zhalnin, L.S. Shibryaeva, A.V. Podzorov // Engineering technologies and systems. 2023. Vol. 33. No. 4. P. 490-507. EDN: SBDKV

Об авторе

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

About the authors

Marina E. Belyshkina, DSs (Agro), chief researcher; ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; bely-mari@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

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

Belyshkina M.E. conducted theoretical research, based on which she summarized and wrote the manuscript. She has the copyright to the article and is responsible for plagiarism.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 20.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 22.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 22.08.2025

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-73-80>
УДК 633.491



ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ С ДВУМЯ УРОЖАЯМИ

И.Н. Гаспарян¹, О.Н. Ивашова², Ш.В. Гаспарян²,
Н.Ф. Денискина², К.В. Чернышева³, А.Г. Левшин²

¹ ФГБНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова; 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

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

³ ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, Россия

Аннотация. В ходе исследований, проводимых в условиях Московской области на протяжении двух вегетационных циклов, было установлено, что процессы формирования урожая картофеля протекают в различающихся агроклиматических условиях. Так, первая волна урожая формируется в период продолжительного светового дня при умеренных температурах, сопровождающихся возможными возвратными заморозками. Вторая же волна созревания приходится на фазу укороченного светового дня, когда наблюдаются повышенные температуры воздуха и дефицит влаги в почве. Основной задачей работы стало определение потенциала применения отечественной аналитической платформы Loginom для обоснованного выбора сортов картофеля, оптимальных для двукратного выращивания в зависимости от погодных факторов. Экспериментальные испытания проходили на базе Учебно-научно-производственного центра «Овощная опытная станция» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва), а также на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии (п. Барыбино, Московская область) в период с 2017 по 2023 годы. Опыт закладывался методом случайного размещения делянок, при этом предшествующей культурой являлся лук. Плотность посадки составила 47,6 тыс. растений на гектар. Для первой посадки использовались пророщенные клубни крупной фракции, для второй – средней. Повторное высаживание осуществлялось на участках, освобождающихся после уборки первой посадки. Агротехника возделывания соответствовала общепринятым стандартам. Уборка урожая проводилась дважды: в середине июля и в конце сентября. Для отбора наиболее продуктивных сортов картофеля в критических климатических условиях применялась информационно-аналитическая система поддержки принятия решений. По результатам прогнозирования было определено, что для получения раннего урожая целесообразно использовать сорта Жуковский ранний, Снегирь, Ред Скарлет, Ривьера и Импала, а для второго цикла возделывания наибольшую эффективность показали сорта Удача, Ред Скарлет и Импала.

Ключевые слова: изменение климата, картофель, два урожая, ранние сорта картофеля, аналитическая платформа Loginom, корреляционный анализ, достоверность выбора

Формат цитирования: Гаспарян И.Н., Ивашова О.Н., Гаспарян Ш.В., Денискина Н.Ф., Чернышева К.В., Левшин А.Г. Информационно-аналитические технологии в возделывании картофеля с двумя урожаями // Природообустройство. 2025. № 4. С. 73-80. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-73-80>

Original article

INFORMATION AND ANALYTICAL TECHNOLOGIES IN TWO-CROP POTATO CULTIVATION

I.N. Gasparyan¹, O.N. Ivashova², Sh.V. Gasparyan²,
N.F. Deniskina², K.V. Chernysheva³, A.G. Levshin²

¹ All-Russian Institute of Agrochemistry named after D. Pryanishnikov, Moscow, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

³ Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

Format of citation: Research conducted in the Moscow region over two growing seasons revealed that potato yield development occurs under different agroclimatic conditions. The first wave of harvest occurs during a period of long daylight hours at moderate temperatures, accompanied by possible recurrent frosts. The second wave of ripening occurs during a period of shortened daylight hours, when elevated air temperatures and soil moisture deficits are observed. The main objective of the study was to determine the potential of the domestic Loginom analytical platform for the informed selection of potato varieties optimal for double cultivation,

depending on weather factors. Experimental trials were conducted at the Vegetable Experimental Station Educational, Scientific, and Production Center of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. The experiment was conducted at the Timiryazev Research Institute (Moscow) and at the Central Experimental Station of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry (Barybino, Moscow Region) from 2017 to 2023. The trial was conducted using random plot placement, with onions being the preceding crop. The planting density was 47,600 plants per hectare. Sprouted tubers of the large fraction were used for the first planting, while medium-sized ones were used for the second. Replanting was carried out in areas vacated after harvesting the first crop. Cultivation practices complied with generally accepted standards. The crop was harvested twice: in mid-July and at the end of September. An information and analytical decision support system was used to select the most productive potato varieties for critical climatic conditions. Based on the forecast results, it was determined that for obtaining an early harvest, it is advisable to use the varieties Zhukovsky ranniy (early), Snegir, Red Scarlet, Riviera and Impala, and for the second cultivation cycle, the varieties Udacha, Red Scarlet and Impala showed the greatest efficiency.

Keywords: climate change, potatoes, two harvests, early potato varieties, Loginom analytical platform, correlation analysis, reliability of choice

Format of citation: Gasparyan I.N., Ivashova O.N., Gasparyan Sh.V., Deniskina N.F., Chernysheva K.V., Levshin A.G. Information and analytical technologies in two-crop potato cultivation // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 73-80. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-73-80>

Введение. Глобальные климатические трансформации создают новые предпосылки для расширения практики возделывания картофеля, что обусловлено высокой адаптивностью данной культуры и её выраженной экологической пластичностью. В современных условиях умеренной зоны становится возможным формирование двух полноценных урожаев в течение одного вегетационного периода. Данное явление связано с увеличением суммарного запаса активных температур в регионе, а также с удлинением общей продолжительности вегетации за счёт более раннего её начала и смещения сроков завершения [1-2].

Следует отметить, что далеко не все сорта картофеля обладают потенциалом для формирования двух урожаев в ограниченные временные рамки. Это объясняется различиями в физиологии клубнеобразования при неодинаковых агроклиматических условиях. Первый урожай закладывается в период длинного фотопериода при умеренных температурах, а иногда и в условиях возвратных заморозков [2]. Второй урожай, напротив, развивается в фазу короткого дня, характеризующуюся повышенными температурами и недостатком влаги в почве [3].

Полевые условия имеют динамический и вероятностный характер, что делает невозможным их полное воспроизведение в разные годы. Для минимизации влияния случайных факторов, повышения достоверности выводов и установления устойчивых закономерностей продуктивности различных сортов картофеля использовались инструменты отечественной аналитической платформы Loginom. Применение данной системы позволило не только уточнить оптимальный подбор сортов с учётом погодных колебаний,

но и продемонстрировало возможность её адаптации к решению других исследовательских и практических задач аграрного сектора.

Цель исследований: обоснование применения платформы Loginom как эффективного инструмента выбора сортов картофеля, наиболее перспективных для двукратного выращивания в условиях изменчивого климата умеренной зоны.

Материалы и методы. В период с 2017 по 2022 годы были заложены опыты на территории УНПЦ Овощная опытная станция ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и ФГБНУ «Федеральный исследовательский институт имени А.Г. Лорха». Варианты в опыте были размещены рендомизированно. Площадь одной опытной делянки составляла 25 м². Схема посадки – 70 × 35 см. Густота стояния растений – 47,6 тыс. на гектаре.

Для посадки первого урожая использовали клубни крупной фракции, вес которых превышал 80 граммов. Для посадки брали элиту, так как сравнения невозможны, если репродукция будет разной, переходя из одной репродукции в другую семенной материал ухудшает свое качество. Элита представляет собой семена картофеля того или иного сорта, которые прошли все этапы размножения и готовы к посадке для выращивания продуктового картофеля. Весь посадочный материал был пророщен: для первой посадки сразу после выноса из хранилища, для второй посадки в конце июня. Проращивание осуществлялась в тени, так как пророщенные на свету – прорастают позднее на дней 10-15. Сроки посадки первого урожая, который считается ранним, обычно приходятся на конец апреля – начало мая, когда почва прогревается до температуры 6-8°C.

Второй урожай, который считается поздним, высаживали в период с 1 по 6 июля. Посадка второго урожая была осуществлена сразу после уборки первого урожая на освободившееся место, пророщенными клубнями. Посадочный материал для второй посадки хранился в холодильнике. Посадка производилась с помощью однорядной картофелесажалки, которая использовалась для полевых исследований. Удобрения вносили вручную, уборка урожая вручную.

Технология возделывания основывалась на базовых принципах с междурядьями в 70 сантиметров и включала в себя следующие этапы: обработка почвы, подготовка посадочного материала, посадка, уход и уборка урожая. Нарезка гребней осуществлялась осенью, зимой не много оседали гребни за счет снега, но весной они быстрее прогревались и высыхали, что давало возможность более ранней посадки. Фенологические наблюдения проводились в соответствии с методикой Государственного сортирента [4].

Для анализа урожайности картофеля, выбора наиболее урожайного и устойчивого к осадкам сорта при первой ранней (апрель) и поздней второй посадке (июль) была использована отечественная аналитическая платформа Loginom. Исходными данными являлись урожайность 10 сортов картофеля раннего и позднего срока посадки за семь лет (период с 2017 по 2023 гг.), а также подекадное количество осадков с апреля по октябрь месяц за указанный период, представленные в формате Excel.

Анализ урожайности исследуемых сортов в разные годы показал разную их реакцию на изменяющиеся условия. Из-за большого объема данных 7 лет, 10 сортов – имеем 70 наборов данных (Big data). Это затрудняет применение традиционных экспериментальных методов для изучения взаимосвязей сортов и климатических условий. Эту задачу возможно решить с использованием алгоритмов факторного анализа, реализованные в современной аналитической платформе Loginom [5].

Были задействованы следующие компоненты: «предобработка» (заполнение пропусков и редактирование выбросов); «исследование» (корреляционный анализ). В качестве визуализаторов использованы таблицы, столбиковые диаграммы, OLAP-кубы, кросс-диаграммы.

Задача исследования заключается в проведении корреляционного анализа для выяснения значимости взаимосвязи между климатическими характеристиками и урожайностью исследуемых сортов и определения наиболее эффективных сортов для использования в производстве.

Результаты и дискуссия. В южных регионах нашей страны и в некоторых других тёплых странах мира практикуется выращивание двух урожаев за сезон. Однако в Московской области, которая относится к третьей световой зоне, такой подход ранее не применялся. Ситуация изменилась в последние годы из-за изменения климата. Средняя температура за 1991-2020 годы заметно выше средней температуры за 30-летний период 1961-1990 гг. (рис. 1). Эксперты МГЭИК ООН, учёные-климатологи и специалисты в области сельского хозяйства говорят о влиянии климатических изменений на технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Они предлагают адаптировать технологии к новым климатическим условиям.

Характеристики климатических условий в разные годы сильно отличаются и по сути являются случайными величинами. Это можно увидеть на рисунках 1, 2 и 3.

Прогнозировать их на следующий год сложно, так как они носят вероятностный характер. Выбор сортов для первого и второго урожая с учётом климатических данных – сложная задача. Однако на основе статистической обработки данных можно получить рекомендации с определённой степенью эффективности [4, 6-9].

Стремление к достижению максимальной урожайности картофеля сталкивается с непредсказуемостью почвенных, метеорологических и ландшафтных условий. Для одних и тех же значений факторов на одном и том же участке разница в урожайности может быть обусловлена различной восприимчивостью разных сортов картофеля к комплексу климатических характеристик. Эти рассуждения указывают на наличие противоречий в стратегиях проведения работ (выбор сорта для первой или второй посадки) и неопределённости внешних условий (природно-климатических). Особенно при разной степени вариации климатических характеристик: средней за декаду влажности и температуры (рис. 3).

На рисунках 4 и 5 приведены OLAP-куб и кросс-диаграмма урожайности картофеля сортов Метеор, Жуковский, Снегирь, Ред Скарлетт, Ривьера, Импала, Леди Клер, Голубизна и Брянский раннего (апрель) и позднего (июль) сроков посадки.

Как следует из рисунка 4, наиболее хорошая динамика урожайности при второй или поздней посадке у сорта Удача, Ред Скарлет, Импала. При первой или ранней посадке высокая урожайность у сортов Жуковский Ранний, Снегирь, Ред Скарлет, Ривьера, Импала.

В среднем за семь лет с 2017 по 2023 гг. наиболее урожайными сортами при ранней

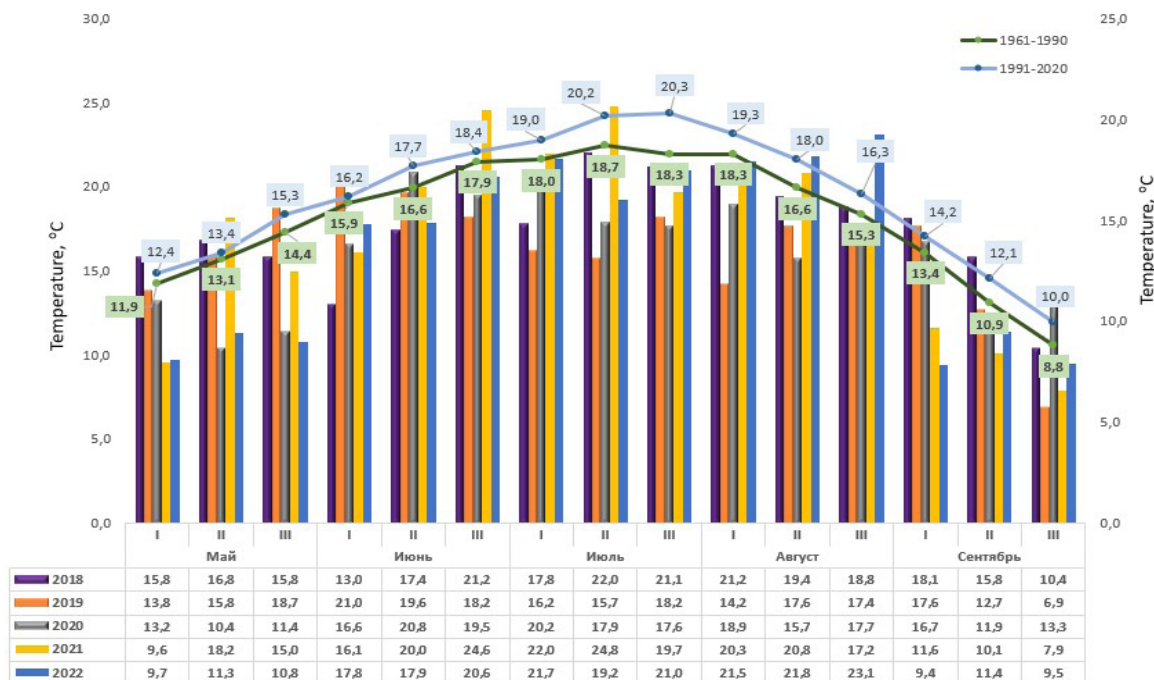


Рис. 1. Температура в годы исследований °С

Fig. 1. Temperature during the years of research °C

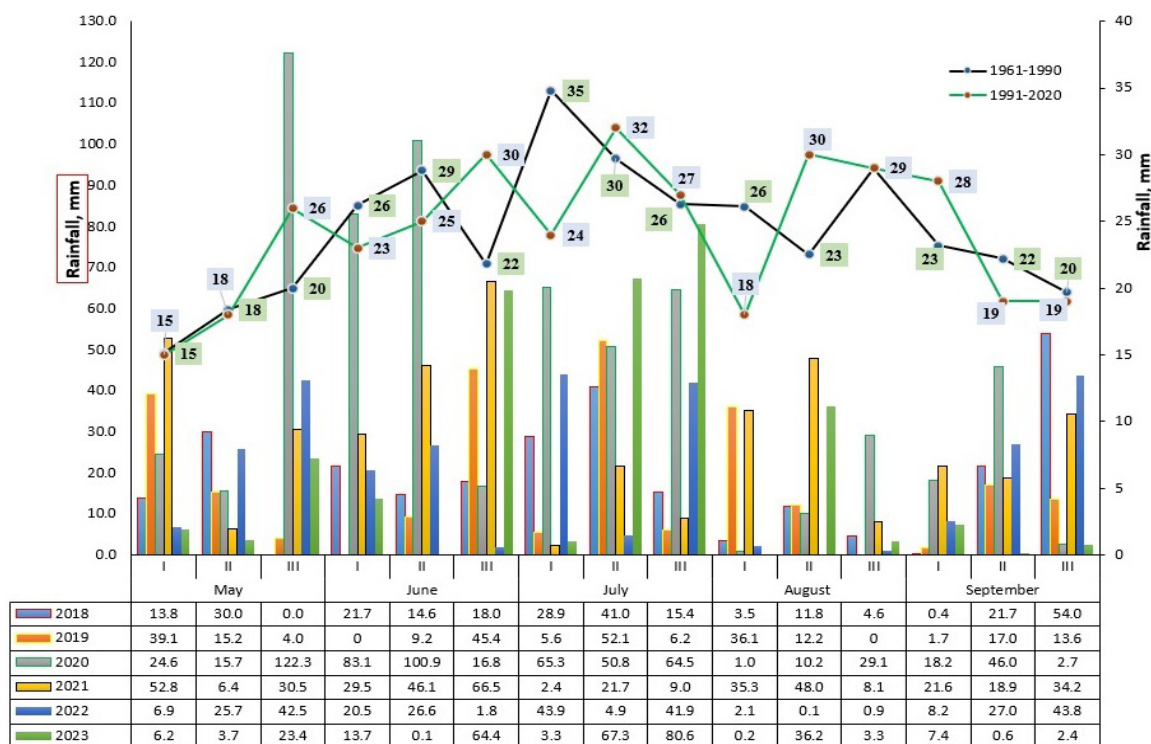


Рис. 2. Осадки в годы исследований, мм

Fig. 2. Precipitation during the years of research, mm

посадке является Ривьера, Импала, Жуковский ранний и Ред Скарлет. При поздней посадке наибольшая урожайность у сорта Импала, Удача, Ред Скарлет, Снегирь и Ривьера (рис. 5).

Для выявления влияния на урожайность картофеля использованы данные динамики количества осадков по декадам месяцев с апреля по октябрь за рассматриваемые годы.

Несмотря на очевидную зависимость урожайности от погодных условий, корреляционный анализ не выявил значимые связи между средним количеством выпавших осадков по месяцам вегетационного периода картофеля и урожайностью при раннем сроке посадки. Коэффициенты корреляции Пирсона, показывающие силу и направление линейной зависимости между

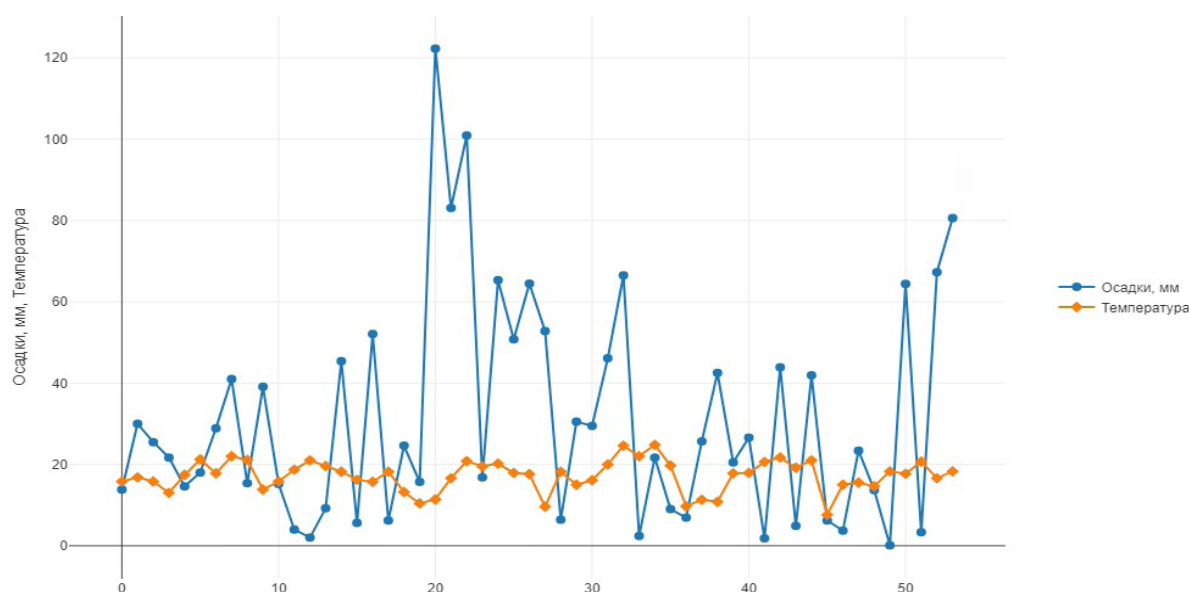


Рис. 3. Вариация среднедекадной температуры и осадки

Fig. 3. Variation of average decadal temperature and precipitation

		Метеор 1	Жуковск...	Удача 1	Снегирь 1	Ред Ска...	Ривьера 1	Импала 1	Леди Кл...	Голубиз...	Брянски...
▼ Поздняя	2017	340,00	390,00	516,00	495,00	543,00	495,00	544,00	382,00	398,00	315,00
	2018	313,00	436,00	610,00	472,00	455,00	426,00	650,00	420,00	510,00	380,00
	2019	224,00	341,00	625,00	461,00	475,00	478,00	525,00	385,00	485,00	420,00
	2020	406,00	527,00	668,00	475,00	575,00	505,00	625,00	350,00	415,00	435,00
	2021	346,00	308,00	445,00	395,00	524,00	535,00	640,00	450,00	465,00	445,00
	2022	413,00	456,00	603,00	584,00	620,00	413,00	614,00	400,00	431,00	398,00
	2023	405,00	389,00	590,00	455,00	585,00	430,00	521,00	380,00	402,00	369,00
	Итого:	349,57	406,71	579,57	476,71	539,57	468,86	588,43	395,29	443,71	394,57
▼ ранняя	2017	490,00	675,00	470,00	660,00	670,00	670,00	550,00	450,00	440,00	400,00
	2018	430,00	425,00	450,00	470,00	490,00	535,00	510,00	430,00	403,00	386,00
	2019	515,00	495,00	370,00	365,00	410,00	610,00	590,00	435,00	480,00	470,00
	2020	640,00	540,00	500,00	580,00	600,00	640,00	600,00	485,00	515,00	505,00
	2021	430,00	470,00	440,00	465,00	420,00	680,00	650,00	420,00	480,00	470,00
	2022	645,00	680,00	520,00	480,00	650,00	700,00	690,00	530,00	550,00	550,00
	2023	584,00	586,00	426,00	450,00	458,00	624,00	460,00	410,00	410,00	400,00

Рис. 4. Кросс-таблица средней урожайности картофеля за 2017-2023 гг.

Fig. 4. Cross-table of average potato yields for 2017-2023

признаком и факторами, демонстрируют, в основном, слабые и средние корреляции между количеством осадков и урожайностью картофеля по всем сортам. При позднем сроке посадки корреляционная зависимость усиливается.

При ранней посадке сильная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции варьирует выше 0,7) наблюдается у сортов Снегирь (положительная корреляция по осадкам в третьей декаде мая, первой и второй декадах июня, первой декаде июля), Леди Клер (положительная корреляция по осадкам во второй декаде апреля, первой декаде июля, отрицательная – в третьей декаде июня), Ред Скарлет и Удача (положительная корреляция по осадкам во второй декаде апреля и в первой декаде июля) (рис. 6).

Слабые корреляционные зависимости урожайности и осадков (коэффициент корреляции меньше 0,4) при ранней посадке у сортов Импала и Ривьера (рис. 6). Это можно объяснить

в основном достаточным количеством осадков, поэтому они не являются доминирующим фактором.

При позднем сроке посадки (вторая посадка) корреляция от осадков значительнее, чем при ранней посадке. Наблюдаются средние и сильные корреляционные связи. Причем преобладают отрицательные корреляционные связи (рис. 6). Это Брянский ранний и Ривьера в первой декаде октября, Голубизна в третьей декаде июля, Жуковский ранний в третьей декаде июня и первой декаде августа, Метеор в первой декаде августа, Снегирь и Удача во второй декаде августа, Снегирь в третьей декаде июня. Есть также сильные положительные корреляции. Это Жуковский ранний в первой декаде июля, Леди Клер в третьей декаде сентября, Метеор и Ред Скарлет в третьей декаде июля, Ривьера в первой декаде сентября (рис. 7).

Средняя корреляционная зависимость при поздней посадке наблюдается у сорта Импала.

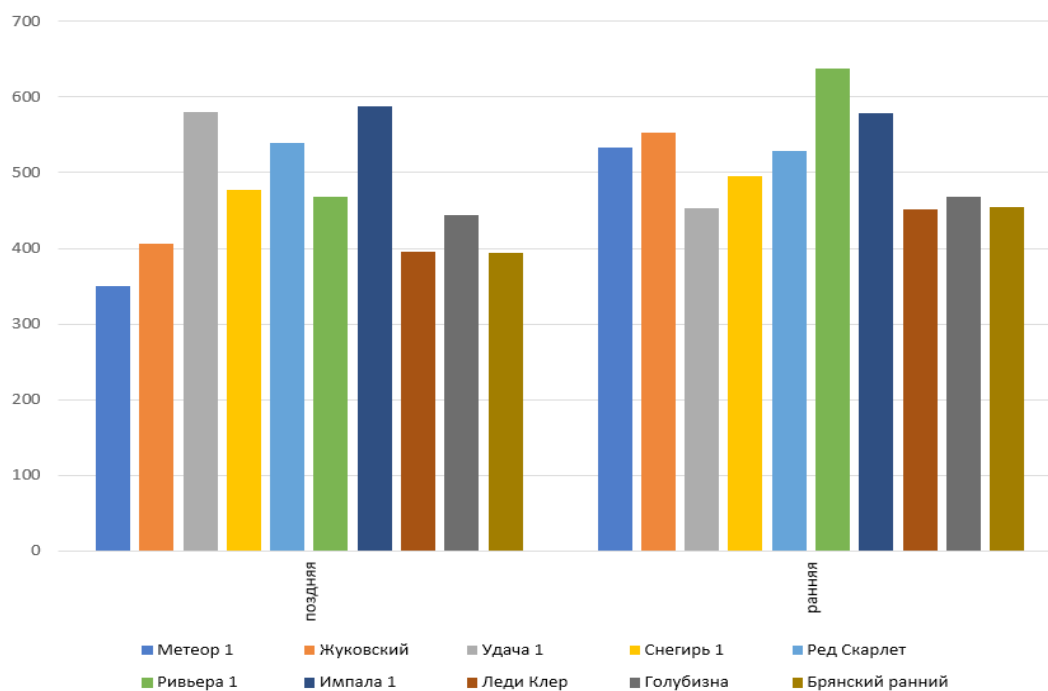


Рис. 5. Кросс-диаграмма средней урожайности картофеля первой (ранняя) и второй (поздняя) посадки

Fig. 5. Cross diagram of the average potato yield of the first and second planting

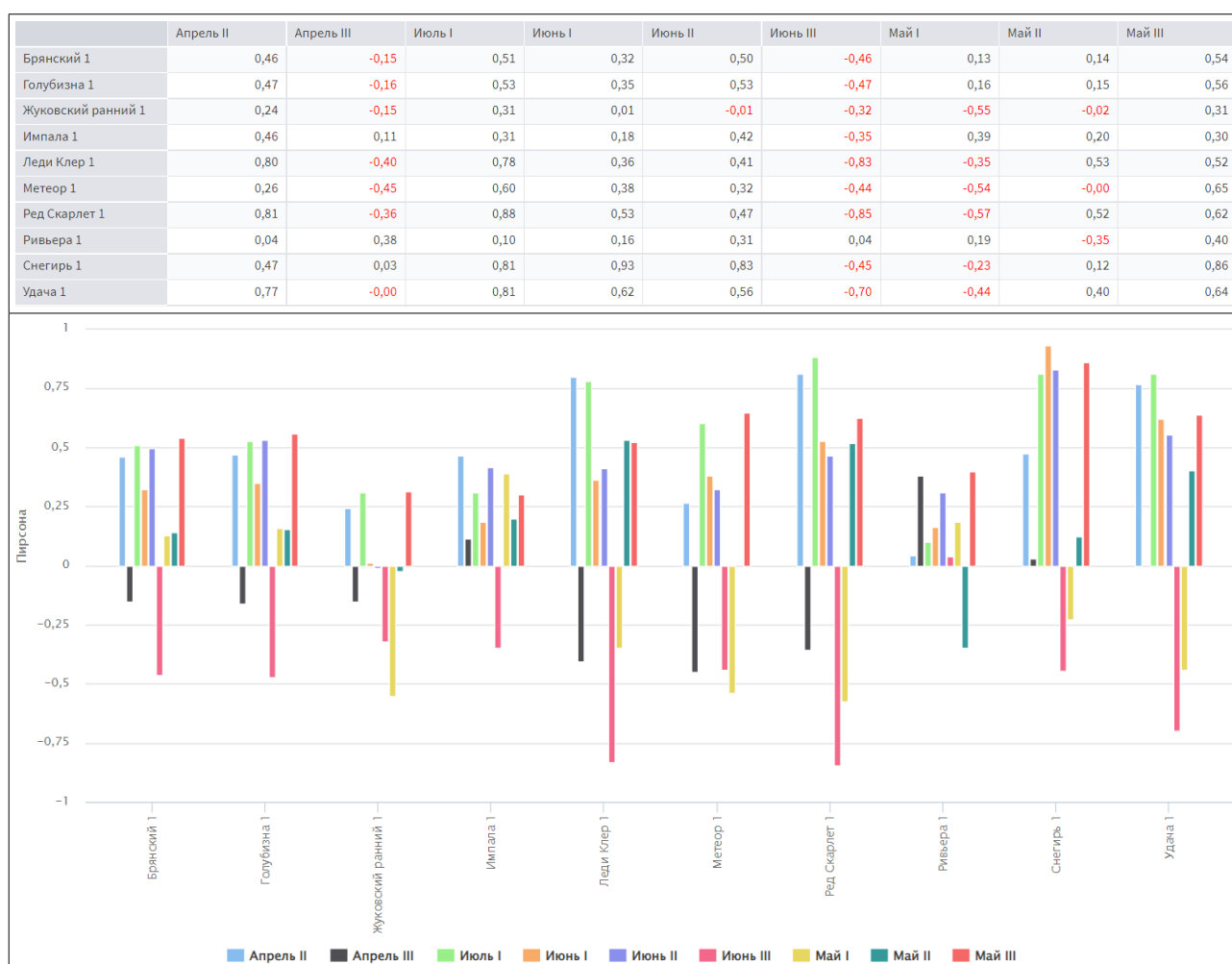


Рис. 6. Коэффициент Пирсона по урожайности картофеля при ранней посадке

Fig. 6. Pearson coefficient for potato yield during early planting

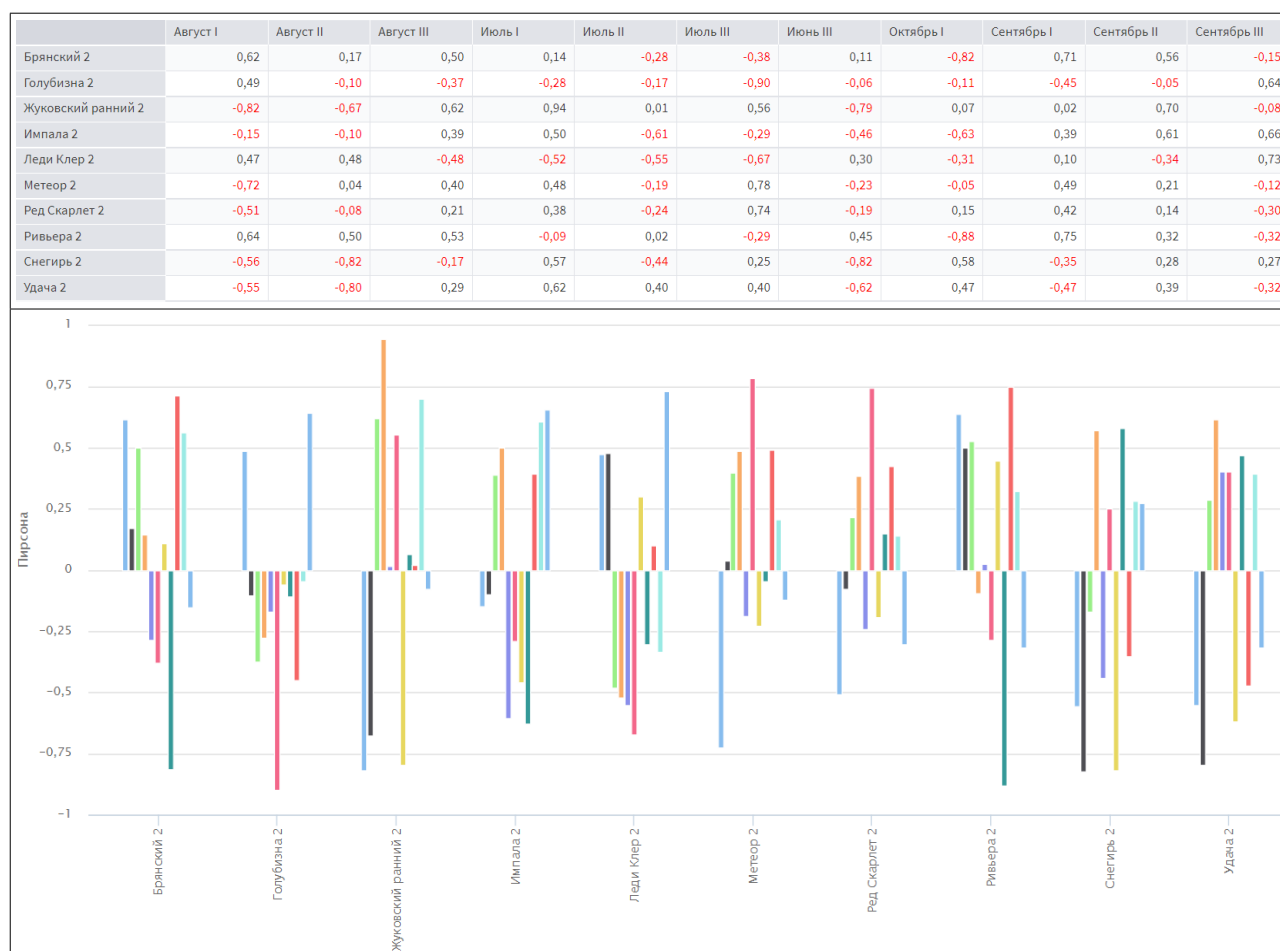


Рис. 7. Коэффициент Пирсона по урожайности картофеля при поздней посадке
Fig. 7. Pearson coefficient for potato yield during late planting

Современные аналитические платформы, такие как программный комплекс Loginom, предлагают широкий спектр статистических и математических методов для анализа и визуализации результатов обработки данных. Однако для более глубокого изучения урожайности картофеля различных сортов при ранней и поздней посадке, включая информацию о погодных условиях по фазам вегетации культуры, например, о температуре, требуется более дополнительная информация для машинного обучения аналитической платформы. Кроме того, возможно более сильное влияние оказывает температура и другие, неучтенные факторы, которые могут влиять на урожайность. Использование аналитических платформ, на основе расширенных данных, полученных в ходе исследований двух посадок в год, позволит выявить их значимость, а также тенденции изменения урожайности, что, в свою очередь, повысит достоверность исследований и обоснованность их результатов.

Список использованных источников

1. Flynn H.C., Smith J., Smith K.A., Wright J., Smith P., and Massheder J. «Climate-and crop-responsive emission factors significantly alter estimates of current and future nitrous

Выводы

1. Использование информационно-аналитической системы поддержки принятия решений для многомерного исследуемого процесса позволяет оценить значимость действующих факторов, обладает способностью интеллектуального анализа больших данных, повышать достоверность результатов за счет обучения нейросети при получении дополнительных данных.

2. Предложенная методика может быть использована при выборе сортов картофеля для возделывания двух урожаев с целью получения гарантированной урожайности с учетом вариации климатических условий.

3. По предварительным результатам исследования для первого урожая следует использовать сорта Жуковский Ранний, Снегирь, Ред Скарлет, Ривьера и Импала. Для второго урожая рекомендуется использовать сорта Удача, Ред Скарлет и Импала.

References

1. Flynn H.C., Smith J., Smith K.A., Wright J., Smith P., and Massheder J. «Climate-and crop-responsive emission factors significantly alter estimates of current and future nitrous

oxide emissions from fertiliser use», Glob. Change Biol., 11, 1522-1536, 2005. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00998.

2. Gasparyan I., Levshin A., Ivashova O., Dyikanova M., Deniskina N. Agrotechnical requirements for the cultivation of Potatoes in a twocrop culture // Research on Crops. 2021. Т. 22. № special issue. С. 1-4. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.001

3. Зверев Е. Кластерный анализ: формирование индикатора риска для больших совокупностей учетной информации / Е. Зверев, А. Никифоров // Внутренний контроль в кредитной организации. 2018. № 3 (39), 24-35. с.

4. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКС, 1967. 263 с.

5. Кластеризация динамических объектов наблюдения / Бобров К.А., Чекал Е.Г., Чичев А.А.: // Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ // Электрон. журн. 2019, № 1, С. 7-19.

6. Gasparyan I.N., Levshin A.G., Ivashova O.N., Deniskina N.F., Gasparyan Sh.V. Features of the choice of potato (*Solanum tuberosum*) varieties when growing two harvests in the temperate zone of Russia // Brazilian Journal of Biology. 2024. Т. 84: 1-9. DOI: 10.1590/1519-6984.278272

7. Горянин О.И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья // Земледелие. 2024. № 4. С. 19-24. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24. EDN: BQDWPB

8. Sunita Jahirabadkar, Parag Kulkarni Clustering for High Dimensional Data: Density based Subspace Clustering Algorithms. International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 63– No 20, February 2013.

9. Васильев А.А. Влияние сбалансированного питания, протравливания и сроков посадки картофеля на урожайность и качество клубней // Земледелие. 2021. № 2. С. 22-26. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10205.

Об авторах

Ирина Николаевна Гаспарян, д-р с.-х. наук, доцент, главный научный сотрудник; Author ID: 362785; irina150170@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4702-0095

Ольга Николаевна Ивашова, канд. с.-х. наук, доцент; Author ID: 705761; o.ivashova@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0001-9206-9862

Шаген Вагенович Гаспарян, канд. с.-х. наук, доцент; Author ID: 756518; gas_shag@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0001-7161-3654

Наталья Федоровна Денискина, канд. с.-х. наук, доцент; Author ID: 767574; ndeniskina@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0003-3111-6869

Кира Владимировна Чернышева, канд. экон. наук, доцент; Author ID: 745171; chernysheva.kv@rea.ru, ORCID: 0000-0001-7459-5930

Александр Григорьевич Левшин, д-р техн. наук, профессор; Author ID: 366502; alevshin@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0001-8010-4448

Критерии авторства / Criteria of authorship

Гаспарян И.Н., Ивашова О.Н., Гаспарян Ш.В., Денискина Н.Ф., Чернышева К.В., Левшин А.Г. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.04.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 17.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 17.08.2025

oxide emissions from fertiliser use», Glob. Change Biol., 11, 1522-1536, 2005. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00998.

2. Gasparyan I., Levshin A., Ivashova O., Dyikanova M., Deniskina N. Agrotechnical requirements for the cultivation of Potatoes in a twocrop culture. Research on Crops. 2021. Т. 22. № special issue: 1-4. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.001

3. Zverev E., Nikiforov A. Cluster analysis: formation of a risk indicator for large sets of accounting information. Internal control in a credit institution. 2018; No. 3 (39): 24-35

4. Research methods for potato crops. Moscow: Research Institute of Potato Crops, p. 263(1967)

5. Bobrov K., Chekal E., Chichev A. Clustering of dynamic objects of observation. Scientific notes of Ulsu. Ser. Mathematics and information technologies. Ulsu. Electron. journ. 2019 No 1:7-19

6. Gasparyan I.N., Levshin A.G., Ivashova O.N., Deniskina N.F., Gasparyan Sh.V. Features of the choice of potato (*Solanum tuberosum*) varieties when growing two harvests in the temperate zone of Russia // Brazilian Journal of Biology. 2024. Т. 84: 1-9. DOI: 10.1590/1519-6984.278272

7. Goryanin O.I. The influence of climate and weather conditions on the yield of grain crops in arid conditions of the Volga region. Agriculture. 2024. No. 4: 19-24. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24.

8. Sunita Jahirabadkar, Parag Kulkarni Clustering for High Dimensional Data: Density based Subspace Clustering Algorithms. International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 63– No 20, February 2013. EDN: BQDWPB

9. Vasiliev A.A. The influence of balanced nutrition, seed treatment and timing of potato planting on the yield and quality of tubers. Agriculture. 2021. No. 2: 22-26. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10205.

About the authors

Irina N. Gasparyan, DSs (Agro), associate professor, chief researcher; Author ID: 362785; irina150170@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4702-0095

Olga N. Chenyshova, CSs (Agro), associate professor; Author ID: 705761; o.ivashova@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0001-9206-9862

Shagen V. Gasparyan, CSs (Agro), associate professor; Author ID: 756518; gas_shag@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0001-7161-3654

Natalya F. Deniskina, CSs (Agro), associate professor; Author ID: 767574; ndeniskina@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0003-3111-6869

Kira V. Chernysheva, CSs (Econ), associate professor; Author ID: 745171; chernysheva.kv@rea.ru, ORCID: 0000-0001-7459-5930

Alexandr G. Levshin, DSs (Tech), professor; Author ID: 366502; alevshin@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0001-8010-4448

Gasparyan I.N., Ivashova O.N., Gasparyan Sh.V., Deniskina N.F., Chernysheva K.V., Levshin A.G. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-81-88>

УДК 626.8:532.54



ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕГОСЯ ВОДОБОЯ С ГАСИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ БЕЗЭРОЗИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗА ТРУБЧАТЫМ ВОДОСБРОСОМ

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

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

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

Аннотация. Изложены результаты гидравлических и гидродинамических исследований расширяющегося водобойного участка нижнего бьефа с комплектом гасителей энергии, обеспечивающих необходимую энергогасящую способность, формирующих благоприятный режим течения за гидроузлом и позволяющих бороться со сбоем потока, несмотря на условия кавитации и значительные пульсационные нагрузки в начальной части водобоя 4-пролетного трубчатого водосброса. Оптимизация конструктивных элементов выходного оголовка позволит при реализации модернизированного аванпроекта после принятия решения о возобновлении строительства Нижне-Кафирниганского гидроузла обеспечить надежную работу его нижнего бьефа независимо от стадии кавитации и от изменения спектров и величины пульсации давления в отдельных точках и на локальных участках водобоя, стабилизировать движение потока в отводящем русле.

Работа выполнена в рамках соглашения № 075-15-2025-543 от 16.06.2025

Ключевые слова: 4-пролетный водосброс, противокавитационная защита, расширяющийся водобой, сбой потока, пульсация давления

Формат цитирования: Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Гидродинамические исследования расширяющегося водобоя с гасителями энергии безэрозионной конструкции за трубчатым водосбросом // Природообустройство. 2025. № 4. С. 81-88. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-81-88>

Scientific article

HYDRODYNAMIC STUDIES OF AN EXPANDING APRON WITH ENERGY ABSORBERS OF AN EROSION-FREE STRUCTURE BEHIND A TUBULAR SPILLWAY

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

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

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

Abstract. The article presents the results of hydraulic and hydrodynamic studies of the expanding stilling section of the lower pool with a set of energy absorbers that provide the necessary energy-absorbing capacity, form a favorable flow regime behind the hydraulic structure and allow to combat flow failure, despite the cavitation conditions and significant pulsation loads in the initial part of the stilling section of the four-span tubular spillway. Optimization of the design elements of the outlet head will allow, when implementing the modernized preliminary design after the decision is made to resume construction of the Nizhne-Kafirnigansky hydraulic structure, to ensure reliable operation of its lower pool regardless of either the cavitation stage or changes in the spectra and magnitude of pressure pulsation at individual points and local sections of the stilling section, and to stabilize the flow in the outlet channel.

This study was carried out under agreement No. 075-15-2025-543 dated 16.06.2025

Keywords: four-span spillway, anti-cavitation protection, expanding apron, flow failure, pressure pulsation

Format of citation: Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. Hydrodynamic studies of an expanding apron with energy absorbers of an erosion-free structure behind a tubular spillway // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 81-88. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-81-88>

Введение. Решение проблем государств, обладающих внушительными гидроэнергетическими ресурсами (таких, например, как Таджикистан (527 млрд кВт·ч в год, занимающий по этому показателю 8-е место в мире), связано со строительством крупных комплексных гидроузлов. Гидроэнергетический потенциал Республики Таджикистан в 3 раза выше, чем текущее потребление электроэнергии по всей Центральной Азии. Здесь сейчас действуют 11 крупных и средних ГЭС, около 300 малых ГЭС, общая установленная мощность которых оценивается в 132 МВт. По оценкам международных специалистов, в регионе существует 6 створов, выгодных для строительства ГЭС с водохранилищами. Одним из них является Нижне-Кафирниганский гидроузел с планируемым максимальным объемом водохранилища 2,05 км³, установленной мощностью 150 МВт, выработкой 0,6 млрд кВт·ч в год.

Проектирование Нижне-Кафирниганского гидроузла началось в 80-е гг. Проект строительства уникального водохозяйственного объекта с водохранилищем сезонного регулирования был выполнен Институтом Союзгипроводхоз при участии ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Среднеазиатского НТИ им. В.Д. Журина, МГУ им. М.В. Ломоносова, Института сейсмологии АН Таджикистана, Института Таджикгипроводхоз и других научных и проектных институтов СССР. Завершение строительства первой очереди гидроузла с водохранилищем емкостью 360 млн м³ было запланировано на 1993 г. В прогнозируемой зоне орошения находятся около 146,2 тыс. га земель, пригодных для него, из которых сейчас орошаются лишь 42,7 тыс. га.

Цель исследований: Экспериментальное изучение расширяющегося водобойного участка

нижнего бьефа с комплектом гасителей энергии, обеспечивающих необходимую энергогасящую способность, формирующих благоприятный режим течения за гидроузлом и позволяющих бороться со сбоем потока, несмотря на условия кавитации и значительные пульсационные нагрузки в начальной части водобоя 4-пролетного трубчатого водосброса.

Материалы и методы исследований. Строительство поселка для гидростроителей Нижне-Кафирниганского гидроузла в соответствии с проектом было начато еще в 1983 г. на берегу р. Кафирниган (правый приток р. Амударья) (рис. 1). Река берет начало с южных склонов Гиссарского хребта, имеет длину 387 км, площадь бассейна – 11,6 тыс. км², средний расход воды – 156 м³/с.

В поселке до Дня независимости 9 сентября 1991 г. были построены 54 дома (из 100 планированных), несколько магазинов, подъездные дороги, мост через реку, притрассовые автобазы, мастерские, бетонный и асфальтный заводы, сейсмологическая станция; были решены вопросы энерго- и водоснабжения. На самом гидроузле до распада СССР и начала гражданской войны в Таджикистане в 1992 г., когда практически все специалисты покинули Таджикистан, были начаты вскрышные работы под основные сооружения, работы по выносу из зоны затопления и перезахоронению старых кладбищ и скотомогильников; построен вахтовый поселок для управления строительством и группы рабочего проектирования. В состав гидроузла, защищающего нижележащие земли от возможного паводка, вошли: плотина из местных материалов с экраном из асфальтобетона длиной 1600 м; донный трубчатый водосброс; ирригационный



а



б

Рис. 1. Створ гидроузла и полуразрушенный поселок со строительной площадкой Нижне-Кафирниганского гидроузла, заложенный в 1983 г. (фото Asia-Plus)

Fig. 1. The hydroelectric complex site and a dilapidated village next to the construction site of the Nizhne-Kafirniyan hydroelectric complex, founded in 1983 (photo Asia-Plus)

водовыпуск; катастрофический водосброс на расход $650 \text{ м}^3/\text{с}$; ГЭС, работающая несколько месяцев в году, мощностью 80 тыс. кВт·ч. при сезонном колебании 10...110 тыс. кВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 478 тыс. кВт·ч. Срок окупаемости капитальных вложений составлял около 4,6 года. В районе строительства и освоения земель ранее, и особенно сегодня, – огромный избыток трудовых ресурсов (примерно 49% населения). В течение всех 32 лет независимости на ввод новых земель и на улучшение водообеспеченности денег в республике Таджикистан не было, но сейчас есть планы обратиться за помощью к Узбекистану, где сохранились специалисты, Китаю и к другим странам за технической и финансовой помощью.

Результаты и их обсуждение. Анализ технических решений водосбросов гидроузлов комплексного назначения показывает, что практически ни одна из конструкций нижнего бьефа малопролетных трубчатых водопропускных сооружений не работает благоприятно с точки зрения гашения и растекания потока, если не предусмотреть систему гасителей, расщепителей и растекателей, состоящую из одного, двух, трех и более рядов [1]. Для дальнейшего совершенствования конструкций креплений открытых малопролетных сооружений, а также для разработки новых методов расчетного обоснования параметров гасящих устройств необходимо выполнять многофакторные лабораторные и натурные исследования гидравлических и динамических условий работы их нижних бьефов.

При гидродинамических исследованиях 4-очкового трубчатого водосброса (водовыпуска) Нижне-Кафирниганского гидроузла, выполненного ранее в рамках аванпроекта [1-3, 5], было установлено, что его нижний бьеф не обеспечивает эффективного гашения энергии и растекания потока при пропуске основных эксплуатационных и паводковых расходов. В состав водосброса входит башня высотой 70 м, затворные камеры, 4 трубы длиной 230 м. Первоначально крепление нижнего бьефа в концевой части водосброса было запроектировано по типу раструбного водобойного колодца. Расчетный расход водосброса составляет $1290 \text{ м}^3/\text{с}$. В концевой части водосброс представляет собой 4-пролетную трубу, выходящую в расширяющийся в плане водобойный колодец с центральным углом 20° .

Анализ результатов гидравлических исследований проектного варианта крепления проводился с учетом опыта лабораторного проектирования креплений, накопленного в лабораторном комплексе кафедры гидросооружений

ИМВХС имени А.Н. Костякова по малопролетным водосбросным сооружениям [4-6], а также по изучению кавитационной обстановки в зоне гасителей энергии потока [5, 8-10]. Поскольку перед первым рядом гасителей ожидалась скорость потока более 24 м/с , что указывало на возможность именно их выступать в качестве источника появления срывной кавитации, способной разрушить поверхности гасителей при эксплуатации, был рассмотрен ряд вариантов «безэрозионной» формы гасителей-растекателей и порогов-стенок.

Исследования проводились при числах Фруда, подсчитанных для сжатого сечения $Fr = 51...190$ и Рейнольдса $Re = 412000...527000$. При проведении гидродинамических экспериментов пульсационные давления измерялись в 30 точках водобойного колодца. Использовались индукционные точечные датчики давления мембранного типа диаметром 6 мм, рассчитанные на максимальное давление 30 см в.ст. (рис. 2), и апробированная блок-схема контрольно-измерительной аппаратуры с соответствующим программным обеспечением. Статическая составляющая фиксировалась в 42 точках пьезометрами. Все частотные и амплитудные характеристики выдавались в числовом виде в необходимых диапазонах. Для частотного диапазона от 0,2 Гц спектральные плотности регистрировались с погрешностью менее 2 дБ, среднеквадратичная ошибка измерений составляла 4%.

Многофакторные исследования проводились на пространственной гидравлической модели водосброса Нижне-Кафирниганского гидроузла, выполненной с линейным масштабом 1:60, и анализировались данные, полученные на фрагментной модели в вакуумном стенде, основные параметры которого приведены в работе [1]. В проведении этих исследований под руководством

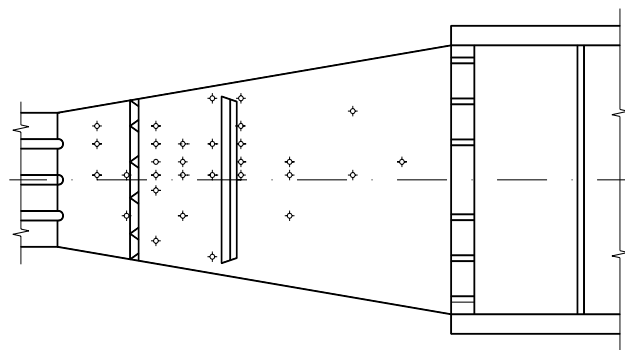


Рис. 2. Схема расположения датчиков давления ДДМ-6 на дне водобоя с рекомендуемой схемой гасящих устройств

Fig. 2. Layout of the DDM-6 pressure sensors at the bottom of the apron with the recommended layout of the damping devices

трех остальных смежных труб, когда его величина составляла $0,55 (\rho V_1^2/2)$, или в натуре – 16,6 м в.ст., V_1 – скорость на выходе из труб. Перед сплошной стенкой давление было выше, чем глубина нижнего бьефа, и достигало в среднем $0,46 (\rho V_1^2/2)$. На участке от сплошной до прорезной стенки на пороге водобоя пьезометрический уровень практически постоянен – горизонтальный. Его значение составляет $(0,23...0,27) (\rho V_1^2/2)$. За прорезной стенкой в зоне третьего вальца наблюдается местное понижение давления, которое на длине $l/h_1 = 25$ (h_1 – глубина на выходе из труб) соответствует уровню воды в нижнем бьефе. Распределение давления по ширине при симметричной работе пролетов относительно равномерное. При несимметричной работе наиболее неравномерное распределение происходит перед первым рядом гасителей, а за гасителями эпюра выравнивается, достигая горизонтального распределения.

Области пониженного давления захватывают первый ряд плит (первая плита подвержена знакопеременной нагрузке) и распространяются на начальный участок второго ряда плит. Если предполагать, что давление под плитой равно давлению нижнего бьефа, то наибольшие дефициты давления в расчетных режимах будут испытывать плиты за первым и вторым рядами гасителей. При работе сооружения неполным числом пролетов за гасителями первого и второго рядов появляется сбой потока, который ведет к некоторому перераспределению средних давлений. Максимальный дефицит наблюдается по оси сбойного течения в зоне свала струй. Местное повышение давления появляется у противоположного борта величиной 10...15 м в.ст. при работе сооружения двумя или тремя отверстиями. Перед гасителями третьего ряда эпюры давления и скорости выравниваются.

Поскольку в натуре при наличии кавитации коэффициенты лобового сопротивления гасителей энергии первого ряда C будут меньше, чем на обычной гидравлической модели (не в вакуумном стенде, как рассматривалось в работах [1-5]), это необходимо учитывать и в гидравлических исследованиях, и в гидродинамических расчетах при оценке величины суммарной нагрузки. Корректно это можно сделать, используя несколько способов [1, 5, 7]. Например, кавитирующие в натурных условиях гасители можно заменить при моделировании аналогичными гасителями, но с площадью миделевого сечения ω , уменьшенной в C_o/C_k раз, где C_o и C_k – коэффициенты лобового сопротивления гасителя C соответственно при бескавитационном режиме ($\beta > 1$) и при данной стадии кавитации ($\beta = K/K_{кр}$);

C – коэффициент формулы для реакции гасителя $R = \gamma \omega C V_{наб}^2 / 2g$ с общеизвестными значениями [1, 7, 11]. При использовании этого способа одновременно для гасителей первого ряда дополнительно проводились опыты и с гасителями уменьшенных сечений, чтобы быть уверенными в том, что изменения этих сечений практически не влияют на структуру потока. Полученные значения коэффициентов сопротивления C_o исследованных гасителей энергии хорошо согласуются с данными, отраженными в работе [1], и когда исследования проводились с применением плиты-датчика, позволявшей определить реакции гасителей и коэффициент пульсации нагрузки [5]. Установлено, что коэффициент пульсации нагрузки увеличивается по мере развития кавитации (рис. 4), а при $\beta < 0,5$ намечается тенденция его снижения [5, 7].

Влияние стадии кавитации β на коэффициент пульсации нагрузки δ_n хорошо прослеживается на данных рисунка 5. При работе гасителей в условиях кавитации, как начальной, так и развивающейся, мгновенная составляющая нагрузки увеличивается (по мере уменьшения осредненной нагрузки) по сравнению с бескавитационным режимом [3]. В бескавитационном режиме коэффициент пульсации нагрузки $\delta_n = \pm A / (V^2 / 2g)$, где A – амплитуда пульсации нагрузки на единицу площади миделевого сечения; $V^2 / 2g$ – скоростной напор от скорости набегающего на гаситель. Он постоянен и равен для безэрозионных гасителей первого ряда: $\delta_n = 0,061... 0,11$. В начальной стадии кавитации его значение возрастает и достигает при $\beta = 0,5$; $\delta_n = 0,65$ (рис. 5). Интенсивность процесса возрастания коэффициента пульсации

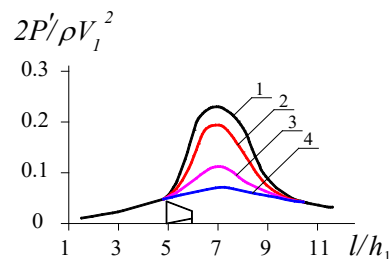


Рис. 4. Изменение относительных стандартов пульсации давления вдоль течения на дне водобоя за первым рядом гасителей безэрозионных очертаний при разных стадиях кавитации β :

1 – $\beta = 0,5$; 2 – $\beta = 0,7$;

3 при – $\beta > 1$ – отсутствие кавитации; 4 – $\beta = 0,2$

Fig. 4. Change in relative standards of pressure pulsation along the flow at the bottom of the apron behind the first row of erosion-free dampers at different stages of cavitation

β : 1 – $\beta = 0,5$; 2 – $\beta = 0,7$;

3 at – $\beta > 1$ – no cavitation; 4 – $\beta = 0,2$

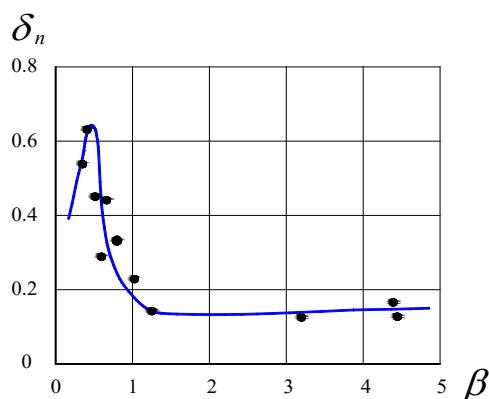


Рис. 5. Графическая зависимость коэффициента пульсации $\delta_n = f(\beta)$ для гасителей безэрозионных конструкций
Fig. 5. Graphic dependence of the pulsation coefficient $\delta_n = f(\beta)$ for erosion-free dampers

связана с образованием здесь естественного очага возмущений – кавитационного факела, содержащего огромное количество схлопывающихся и пульсирующих пузырьков. Уменьшение размахов пульсации на некоторой стадии кавитации при наличии «кавитационного порога», препятствующего понижению абсолютного давления ниже давления водяных паров жидкости, было отмечено и В.М. Лятхером [7, 12].

Распределение интенсивности пульсации давления P' на участке перед первым рядом гасителей соответствует известным экспериментальным данным для плоского прыжка [1]. Значение P' здесь составляет около 0,06 ($\rho V_1^2/2$), кроме режима с одной работающей трубой, что объясняется резким уменьшением удельных расходов и скоростей в сжатом сечении. Наибольшие значения P' наблюдаются за первым рядом гасителей (безэрозионными пашками) на расстоянии $(0,55 \dots 1,0) h_1$ и достигают в строительный период 0,2 ($\rho V_1^2/2$), в эксплуатационный – 0,145 ($\rho V_1^2/2$) в том же створе. Наибольшее значение P' имеет место

в зоне свала струй, когда работают только 2 средние трубы водосброса, – 0,245 ($\rho V_1^2/2$). На участке между первым и вторым рядами гасителей величина пульсации давления составляет от 0,2 до 0,04 ($\rho V_1^2/2$), что несколько выше обычных данных для плоского прыжка [12]. Это объясняется влиянием пространственности и тем, что скорость в сжатом сечении не является равной скорости на выходе из труб. Большое значение P' за растекателями связано с эффектами пространственного обтекания зубьев, то есть с процессом интенсивного вихреобразования за ними. По мере приближения к сплошной стенке интенсивность пульсации падает до 0,04, а за ней вплоть до прорезной стенки на пороге $P' = 0,03$ ($\rho V_1^2/2$), и затухает она медленнее (рис. 6).

При работе сооружения в строительный период на участке от сплошной стенки до прорезной на пороге колодца величина P' в среднем составляет 0,06 ($\rho V_1^2/2$), то есть выше, чем в расчетном режиме при работе четырех труб полностью, причем значения P' перед прорезной стенкой увеличиваются (что отмечается при переходе от донного к поверхностному режиму сопряжения и для схемы, когда на расширяющемся водобое устанавливаются рассеивающие пороги и водобойные стенки). Наиболее загруженной оказывается центральная часть плиты первого ряда. При работе сооружения тремя пролетами область с максимальными значениями P' смещается к оси пролета смежного с закрытым. При этом $P'_{\max} = 0,16$ ($\rho V_1^2/2$), а за сплошной стенкой значения P' снижаются до $0,03\rho V_1^2/2$.

Данные о стандартах пульсации, обработанные с целью получения изолиний (рис. 7), также показали, что концентрация значений стандартов пульсации давления наблюдается на средней части именно первой плиты за растекателями, у бортов значения P' уменьшаются.

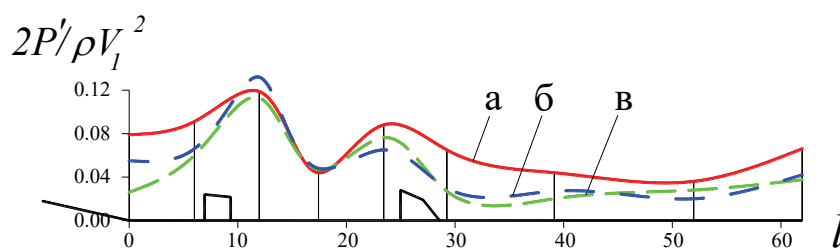


Рис. 6. Характерное распределение относительных стандартов пульсации давления в точках дна водобойного колодца $2P' (\rho V_1^2/2)$ при пропуске в расчетном режиме расхода $Q = 1290 \text{ м}^3/\text{с}$ четырьмя трубами:

соответственно в продольном створе между безэрозионными гасителями первого ряда (а); для плоского прыжка [12] (б); по оси гасителя (в)

Fig. 6. Characteristic distribution of relative pressure pulsation standards at the bottom points of a stilling basin $2P' (\rho V_1^2/2)$ when passing a flow rate of $Q = 1290 \text{ м}^3/\text{с}$ in the design mode through 4 pipes: respectively, in the longitudinal section between the erosion-free dampers of the 1st row (a), for a flat jump [12] (b) and along the damper axis (c)

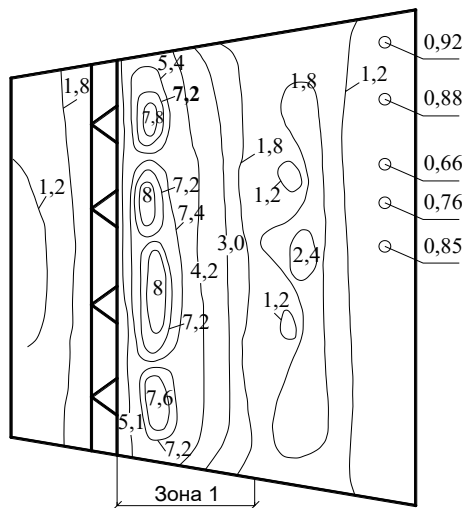


Рис. 7. Изолинии стандартов пульсации давления P' с учетом влияния кавитации, м в.ст. «натурь»: 1 – зона, где учтено влияние кавитации

Fig. 7. Isolines of pressure pulsation standards P' taking into account the influence of cavitation, m V. Natura station:

1 is the zone where the influence of cavitation is taken into account

Перед сплошной стенкой в некоторых режимах еще имеют место локальные области с повышенными значениями P' .

В целом при работе в аварийных режимах значения стандарта пульсации на плитах первого и второго рядов меньше, чем при работе в расчетных режимах. Поэтому при определении параметров плит следует делать расчет на основной режим при пропуске расхода $1290 \text{ м}^3/\text{с}$ всеми четырьмя трубами при УВБ = 525 м. В дальнейшем для повышения устойчивости плит (или если потребуется – для уменьшения толщины

плит) можно рекомендовать устроить дренажные колодцы специальной конструкции, стабилизирующей поступление пульсаций в подплитную область, в местах максимального понижения давления: за гасителями первого ряда – на расстоянии $(1...2) h_p$, за вторым рядом гасителей – на расстоянии $0,5 h_p$.

Выводы

Возобновление строительства Нижне-Кафирниганского гидроузла с водохранилищем сезонного регулирования будет способствовать улучшению обеспечения водой, увеличению площади орошаемых земель не только Таджикистана, но и соседнего Узбекистана. Для продолжения возведения ирригационного гидроузла с оптимизированными современными решениями желательно учесть результаты гибридного моделирования гидродинамических процессов, исследованных на пространственных моделях при лабораторном проектировании устройств нижнего бьефа водосброса. Максимальные пульсационные составляющие нагрузок на плиты водобоя наблюдаются при развитой стадии кавитации и могут превысить в отдельных точках нагрузку в бескавитационном режиме работы не менее чем в 2 раза. Створ с максимальными пульсационными нагрузками находится за гасителями с безэрозийной формой очертания на расстоянии примерно $0,5...1,5$ глубины потока на выходе из труб.

Предложенные подходы не только способствуют эффективному гашению энергии потока, но и гарантируют бесбойные режимы в отводящем русле, надежную эксплуатацию в условиях пропуска максимального расхода через трубчатый водосброс Нижне-Кафирниганского гидроузла.

Список использованных источников

1. Розанов Н.П. Устройства нижнего бьефа водосборов: монография / Н.П. Розанов, Н.Т. Кавешников, В.И. Китов; Под ред. проф. Н.П. Розанова. М.: Колос, 1984. 269 с.
2. Rozanov N.P., Rumiantsev J.S., Rozanova N.N., Kaveshnikov N.T., Kitov E.I., Bukreiev V.P., Chernykh O.N., Chechonadskikh V.S. Rational Types and Designing of Tailwater arrangements in open spillways. Spillway Tunnels and Culvert-type spillways. International Comission on Large Dams, XIII Congress, New-Delhi, India, 1979.
3. Obidov B., Vokhidov O., Shodiev B., Ashirov B., Sarsaeva M. (2020) Hydrodynamic loads on a water drain with cavitation quenchers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 883. Pp. 012011. DOI:10.1088/1757-899x/883/1/012011
4. Rozanov N.P., Rozanova N.N. Some probleme of modelling water outlet structures with free-surface (Subject Da-c). XIX JAHR congress New-Delhi, India, 1981, Proceeding Subject – D(a), Paper № 10, Volume V.
5. Розанова Н.Н. Кавитационные и гидравлические исследования безэрозийных гасителей энергии

References

1. Rozanov N.P. et al. Spillway tailrace devices: monograph / N.P. Rozanov, N.T. Kaveshnikov, V.I. Kitov; Ed. by prof. N.P. Rozanov. Moscow: Kolos, 1984. 269 p.
2. Rozanov N.P., Rumiantsev J.S., Rozanova N.N., Kaveshnikov N.T., Kitov E.I., Bukreiev V.P., Chernykh O.N., Chechonadskikh V.S. Rational Types and Designing of Tailwater arrangements in open spillways. Spillway Tunnels and Culvert-type spillways. International Comission on Large Dams, XIII Congress, New-Delhi, India, 1979.
3. Obidov B., Vokhidov O., Shodiev B., Ashirov B., Sarsaeva M. (2020) Hydrodynamic loads on a water drain with cavitation quenchers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 883. P. 012011. DOI:10.1088/1757-899x/883/1/012011
4. Rozanov N.P., Rozanova N.N. Some probleme of modelling water outlet structures with free-surface (Subject Da-c). XIX JAHR congress New-Delhi, India, 1981, Proceeding Subject – D(a), Paper № 10, Volume V.
5. Rozanova N.N., Ariel A.R. Cavitation and hydraulic studies of erosion-free energy absorbers / Collection

/ Н.Н. Розанова, А.Р. Ариэль / Сборник научных трудов. Натурные и модельные исследования гидротехнических сооружений. М.: 1983. С. 75-81.

6. Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Y., Brakeni A., Chernykh O.N. (2024). Ensure the stability of the water retention plates of hydraulic structure, Larhyss Journal, No. 58, pp. 73-87.

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

8. Черных О.Н. Экспериментальные и аналитические исследования нагрузок на элементы крепления за водосбросами водных объектов АПК / О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко, С.Ю. Бурлаченко // Природообустройство. 2023. № 4. С. 12-20. EDN: MQRVMW

9. Chernykh O.N., Komelkov L.V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures // Hydrotechnical Construction. 1983. Vol. 17 (8). Pp. 410-416.

10. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Brakeni A. Operation evaluation of water discharge end sections in the conditions of narrow downthrow // Larhyss Journal. 2023. No. 56. Pp. 25-38.

11. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Свод правил. СП 290.1325800, п. 4.11. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074911>.

12. Лятхер В.М. Турбулентность в гидросооружениях: монография. М.: Энергия. 1968. 408 с.

13. Черных О.Н. Обеспечение надежности крепления из плит за водопропускными сооружениями мелиоративных систем АПК // О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко, С.Ю. Бурлаченко // Природообустройство. 2023. № 5. С. 41-46. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-40-46>

14. Алсадек Е.С. Крепления в нижнем бьефе шахтного водосброса гидроузла «16 Тишрин» // Природообустройство. 2024. № 3. С. 63-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-63-70>

15. Dilshod Bazarov, Nikolai Vatin, Obidov Bakhtiyor, Vokhidov Oybek, Ashraf Rakhimov and Makhfuz Akhmedi. Hydrodynamic effects of the flow on the slab of the stand in the presence of cavitation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IPICSE2020. 1030 (2021) 012116 doi:10.1088/1757-99X/1030/1/012116

of scientific papers. Natural and model studies of hydraulic structures, Moscow: 1983. P. 75-81.

6. Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Y., Brakeni A., Chernykh O.N. (2024). Ensure the stability of the water retention plates of hydraulic structure, Larhyss Journal, No. 58, P. 73-87.

7. Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures: Reference manual / Ed. D.D. Lappo. M.: Energoatomizdat, 1988. 624 p.

8. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. Experimental and analytical studies of loads on fastening elements behind spillways of water bodies of the agro-industrial complex // Prirodoobustroystvo. 2023. No. 4. P. 12-20. EDN: MQRVMW

9. Chernykh O.N., Komelkov L.V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures // Hydrotechnical Construction. 1983. Vol. 17 (8). P. 410-416.

10. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Brakeni A. Operation evaluation of water discharge end sections in the conditions of narrow downthrow // Larhyss Journal. 2023. No. 56. P. 25-38.

11. Culvert hydraulic structures (spillways, water outlets and water discharges). Design rules. Code of rules. SP 290.1325800, p. 4.11. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074911>.

12. Lyather V.M. Turbulence in hydraulic structures: monograph. Moscow: Energiya. 1968. 408 p.

13. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. Ensuring the reliability of fastening from slabs behind culverts of melioration systems of the agro-industrial complex // Prirodoobustroystvo / 2023. No. 5. P. 41-46. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-40-46>

14. Alsadek E.S. Fastenings in the lower pool of the mine spillway of the "16 Tishrin" hydroelectric complex // Prirodoobustroystvo / 2024. No. 3. P. 63-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-63-70>

15. Dilshod Bazarov, Nikolai Vatin, Obidov Bakhtiyor, Vokhidov Oybek, Ashraf Rakhimov and Makhfuz Akhmedi. Hydrodynamic effects of the flow on the slab of the stand in the presence of cavitation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IPICSE2020. 1030 (2021) 012116 doi:10.1088/1757-99X/1030/1/012116

Об авторах

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

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

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

About the authors

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

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

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

Критерии авторства / Authorship criteria

Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 22.04.2025

Поступила после рецензирования / Revised after peer review 20.06.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 20.06.2025

Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-89-94>

УДК 626.8:532.54



КОМПЕНСАЦИОННЫЕ УЧАСТКИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

Ханов Н.В.^{1✉}, Сермавбрин Н.В.², Кадысева А.А.¹, Мартынова Н.Б.¹

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² АО «КАВКАЗ.РФ»; 123112, г. Москва, ул. Тестовская, 10, этаж 26, пом. I

Аннотация. Важнейшими конструкциями мощных ГЭС являются напорные водоводы при их диаметре, как правило, более 3 м. Сталежелезобетонная конструкция напорных водоводов нашла широкое применение в практике отечественного гидротехнического строительства. К важнейшим конструктивным особенностям сталежелезобетонных напорных водоводов относятся так называемые компенсационные участки, устраиваемые в зонах перехода водоводов из одного сооружения в другое с применением «мягкой» низко модульной прокладки. В действующих нормативных документах практически не уделено внимание компенсационным участкам. Возникла необходимость разработки методики расчета напорных водоводов сталежелезобетонной конструкции и схем их армирования включая компенсационные участки.

Работа выполнена в рамках соглашения № 075-15-2025-543 от 16.06.2025

Ключевые слова: напорные водоводы сталежелезобетонной конструкции, компенсационные участки, «мягкая» низко модульная прокладка, армирование, конечно-элементные модели

Формат цитирования: Ханов Н.В., Сермавбрин Н.В., Кадысева А.А., Мартынова Н.Б. Компенсационные участки сталежелезобетонных напорных водоводов // Природообустройство. 2025. № 4. С. 89-94. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-89-94>

Original article

COMPENSATION SECTIONS OF STEEL-REINFORCED CONCRETE PRESSURE WATER CONDUITS

N.V. Khanov^{1✉}, N.V. Sermavbrin², A.A. Kadyseva¹, N.B. Martynova¹

¹ Russian Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya Street, 49

² SC KAVKAZ.RF; 123112, Moscow, Testovskaya Street, 10, 26th floor, room I

Abstract. The most important structures of powerful hydroelectric power plants are pressure water conduits, which are usually more than 3 m in diameter. The steel-reinforced concrete structure of pressure water conduits has been widely used in the practice of domestic hydraulic engineering. One of the most important design features of steel-reinforced concrete pressure water conduits is the so-called compensation sections, which are installed in the areas where the water conduits pass from one structure to another using a “soft” low-modulus gasket. Current regulatory documents do not pay much attention to compensation sections. There is a need to develop a methodology for calculating pressure water pipelines made of steel-reinforced concrete, as well as their reinforcement patterns, including compensatory sections.

The work was carried out within the framework of Agreement No. 075-15-2025-543 dated 06/16/2025

Keywords: pressure water conduits of steel-reinforced concrete structure, compensation sections, “soft” low-modulus gasket, reinforcement, finite-element models

Format of citation: Khanov N.V., Sermavbrin N.V., Kadyseva A.A., Martynova N.B. Compensation sections of steel-reinforced concrete pressure water conduits // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 89-94. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-89-94>

Введение. Важнейшими конструкциями мощных ГЭС являются напорные водоводы при их диаметре, как правило, более 3 м. На рисунке 1 представлено поперечное сечение напорного водовода сталежелезобетонной конструкции.

Необходимость разработки сталежелезобетонной конструкции напорных водоводов возникла в тот период, когда для строительства ГЭС большой мощности в СССР потребовалось применение водоводов большого диаметра при высоких напорах воды.

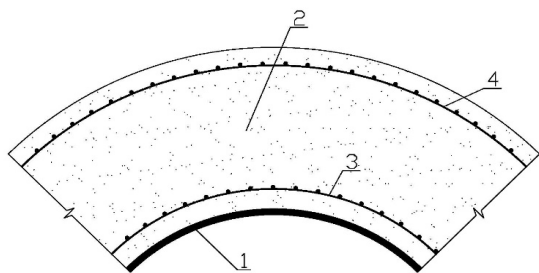


Рис. 1. Поперечное сечение
напорного водовода

сталежелезобетонной конструкции:

- 1 – металлооблицовка; 2 – железобетонная оболочка;
3 – кольцевая арматура у внутренней поверхности;
4 – кольцевая арматура у наружной поверхности

Fig. 1. Cross-section of a pressure water conduit
of a steel-reinforced concrete structure:

- 1 – metal cladding, 2 – reinforced concrete shell,
3 – ring reinforcement at the inner surface,
4 – ring reinforcement at the outer surface

В период строительства мощных ГЭС стальная конструкция напорного водовода из обычной (невысокопрочной) стали, толщина оболочки которой ограничена величиной 40 мм (обусловленной особенностями изготовления, вальцовки, сварки и пр.), оказалась непригодной для восприятия максимальной нагрузки от внутреннего давления воды. Было предложено усиливать внутреннюю стальную оболочку за счет арматуры.

Таким образом, была разработана, экспериментально и теоретически обоснована новая конструкция сталежелезобетонного типа [1-3].

Отличительная черта новой конструкции заключалась в том, что совместно работают внутренняя металлооблицовка и арматура окружающего железобетона.

В 1970-1980-е гг. представлялось целесообразным максимально снижать толщину внутренней стальной оболочки (в целях экономии дорогой листовой стали) и, соответственно, увеличивать армирование железобетонной части водовода, заменяя листовую сталь на арматурную сталь.

В качестве примера можно привести напорные водоводы Загорской ГАЭС. Внутренняя металлооблицовка уменьшена до 10 мм, а в окружающем железобетоне при его толщине 400 мм расположена арматура диаметром 40 мм класса А-III по 10 стержней у внутренней грани и по 5 стержней у наружной грани на 1 м.п. в пределах наиболее нагруженных низовых участков. Действовавшие в период проектирования Загорской ГАЭС нормативно-методические документы были направлены на экономию строительных материалов. По этой причине запасы прочности сталежелезобетонных водоводов (которые

рассчитывались в предположении совместной работы внутренней стальной оболочки и окружающего железобетона в предельном состоянии) были несколько снижены по сравнению с действовавшими ранее нормами.

Для обоснования сталежелезобетонной конструкции проводились многочисленные экспериментальные и теоретические исследования. К важнейшим конструктивным особенностям напорных водоводов сталежелезобетонной конструкции относятся так называемые компенсационные участки [4, 5] в зоне контакта соседних сооружений – например, бетонной плотины и здания ГЭС (рис. 2).

Конструкция компенсационного участка сталежелезобетонного напорного водовода для реализации свободных деформаций без стеснения окружающим железобетоном при возможных взаимных смещениях контактирующих между собой сооружений представлена на рисунке 3.

В таблице 1 представлены параметры напорных водоводов ряда ГЭС [5].

Из данных таблицы 1 следует, что отношение B/D варьируется в диапазоне от 0,57 до 1,83.

В действующих нормативных документах практически не упоминаются компенсационные участки напорных водоводов. Предполагается назначать армирование из конструктивных соображений, исходя из существующего традиционного представления о полном восприятии давления воды внутренней стальной оболочкой без какой-либо передачи на окружающую железобетонную оболочку.

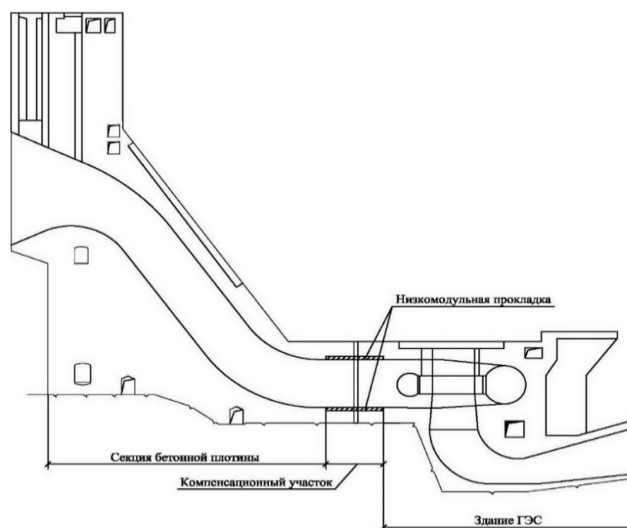


Рис. 2. Напорный водовод
в зоне перехода из бетонной плотины
в здание ГЭС (компенсационный участок)

Fig. 2. Pressure water conduit in the transition zone
from the concrete dam to the hydroelectric
power station building (compensation section)

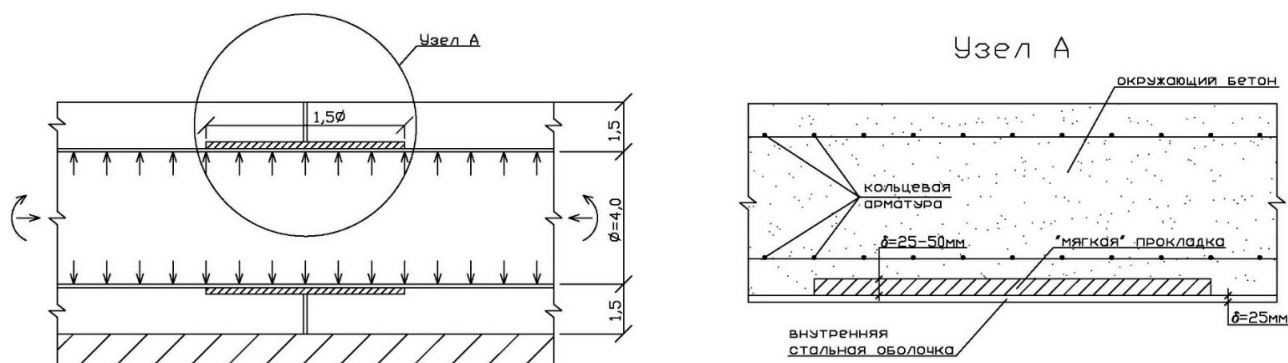


Рис. 3. Конструкция компенсационного участка сталежелезобетонного напорного водовода
Fig. 3. Design of the compensation section of the steel-reinforced concrete pressure water conduit

Таблица 1. Характеристики напорных водоводов отечественных и зарубежных ГЭС
Table 1. Characteristics of pressure water pipes of domestic and foreign hydroelectric power stations

№ п/п	Название ГЭС Name of the hydroelectric power station	Напор, м Head, m	Диаметр водоводов D, м Diameter of water conduits D, m	Длина В участка с «мягкой» низкомодульной прокладкой, м Length B of the section with «soft» low-modulus gasket, m	Отношение B/D B/D ratio	Толщина «мягкой» низкомодульной прокладки, мм Thickness of the «soft» low-modulus gasket, mm
1	Усть-Илимская ГЭС на р. Ангаре Ust-Ilimsk hydroelectric power station on the Angara river	110	7,85	11,0	1,40	50
2	Братская ГЭС на р. Ангара Bratsk hydroelectric power station on the Angara river	106	7,0	4,0	0,57	50
3	Саяно-Шушенская ГЭС на р. Енисей Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station on the River Yenisei	270	7,05	11,0	1,56	60
4	Зейская ГЭС на р. Зея Zeya hydroelectric power station on the River Zeya	135	7,77	12,3	1,58	50
5	Курпсайская ГЭС на р. Нарын Kurpsai hydroelectric power station on the River Naryn	111	7,0	12,8	1,83	50
6	Ташкумырская ГЭС на р. Нарын Tashkumyr hydroelectric power station on the Naryn River	70	7,6	6,55	0,86	50
7	Юмагузинская ГЭС на р. Белая Yumaguzinskaya hydroelectric power station on the Belaya River	65	3,2	5,0	1,56	30
8	Бурейская ГЭС на р. Бурей Bureya hydroelectric power station on the Bureya River	140	8,5	12,0	1,41	50
9	Богучанская ГЭС на р. Ангара Boguchanskaya hydroelectric power station on the Angara River	75,6	10,0	10,5	1,05	50
10	ГЭС «Три ущелья» на р. Янцзы (КНР) Three Gorges Dam on the Yangtze River (China)	140	12,4	12,0	0,97	50

Цель исследований: разработка методики расчета напорных водоводов сталежелезобетонной конструкции и схем их армирования включая компенсационные участки.

Материалы и методы исследований. Было высказано предположение того, что в действительности на железобетонную оболочку компенсационного участка частично передаются нагрузки от внутреннего давления воды, в первую очередь – вблизи зон начала и окончания размещения «мягкой» низко модульной прокладки. По этой причине понадобилось выполнить расчетные исследования НДС компенсационных участков водоводов сталежелезобетонной конструкции с учетом опыта математического моделирования ГТС [4-9]. При этом в конечно-элементных моделях воспроизводятся конструктивные особенности водоводов (такие, как внутренняя стальная оболочка, внешняя железобетонная оболочка, стержневая арматура и пр.). На основе анализа экспериментальных данных о трещинообразовании в конечно-элементных моделях воспроизводятся трещины. Как правило, выявленные радиальные трещины полностью пронизывают толщину железобетонной оболочки, но ширина их раскрытия у внутренней и наружной поверхностей различна (в том числе в зависимости от армирования).

При моделировании стержневой арматуры железобетонной оболочки учитывается нарушение сцепления арматуры с бетоном в местах пересечения ее радиальными трещинами.

Результаты и их обсуждение. В соответствии с указанной методикой на первом, предварительном этапе, расчеты НДС выполнялись в упруго-линейной постановке (в предположении упругой работы железобетонной части).

Анализ результатов расчетов НДС компенсационного участка сталежелезобетонного напорного водовода показал, что размеры области значительных по величине кольцевых растягивающих напряжений в железобетоне зависят

от соответствующих геометрических параметров компенсационного участка.

Значения кольцевых растягивающих напряжений на внутренней и на внешней поверхностях железобетонной оболочки водовода на компенсационном участке (в начале, в четверти пролета и в середине пролета участка с «мягкой» низко модульной прокладкой) при модуле деформации материала прокладки, равном 5 МПа, представлены в таблице 2.

Из приведенных в таблице 2 результатов следует, что при отношении $B/D = 0,5$ значительное кольцевое растяжение (более 2,0 МПа), превышающее сопротивление бетона растяжению (порядка 1 МПа), действует практически на всей протяженности компенсационного участка. При этом требуется назначение расчетной кольцевой арматуры (в отличие от конструктивного армирования).

При увеличении отношения B/D до 1,5 характер напряженного состояния существенно изменяется. В средней части компенсационного участка кольцевые растягивающие напряжения значительно ниже сопротивления бетона растяжению, то есть достаточно назначать конструктивное армирование. Этого нельзя сказать о начале компенсационного участка, где растягивающие напряжения кольцевого направления составляют 4,04...6,35 МПа, что требует расчетного армирования.

На основе полученных расчетом значений растягивающих напряжений в железобетонной части компенсационного участка было определено требуемое кольцевое армирование. При этом сечение арматуры назначалось таким образом, чтобы арматура у внутренней и у внешней поверхностей железобетонной оболочки водовода воспринимала кольцевые растягивающие усилия, действующие в соответствующих зонах железобетонной оболочки.

На следующем этапе расчетных исследований в конечно-элементные модели включались

Таблица 2. Кольцевые растягивающие напряжения (МПа) в начале, в четверти и в середине зоны «мягкой» низко модульной прокладки при значении ее модуля деформации $E = 5$ МПа

Table 2. Circular tensile stresses (MPa) at the beginning, in the quarter and in the middle of the zone of a "soft" low-modulus gasket with a value of its deformation module $E = 5$ MPa

B/D	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
Начало (внутри) / Beginning (inside)	6,85	6,27	6,24	6,38	6,49
Начало (снаружи) / Beginning (outside)	3,84	3,71	3,83	3,97	4,11
Четверть (внутри) / Quarter (inside)	5,46	3,98	2,92	2,46	1,99
Четверть (снаружи) / Quarter (outside)	2,95	2,04	1,37	1,14	0,87
Середина (внутри) / Middle (inside)	5,15	3,16	1,83	1,10	0,79
Середина (снаружи) / Middle (outside)	2,54	1,21	0,51	0,26	0,25

стержни кольцевой арматуры: как на основной протяженности напорного водовода, так и на компенсационном участке, в соответствии с разработанными схемами армирования. Моделировалось образование трещин, возникающих под действием кольцевых растягивающих напряжений и пересекающих кольцевую арматуру на основной протяженности напорного водовода и на компенсационном участке. Основные результаты расчетов представлены в таблице 3. При этом было получено следующее наиболее существенное напряженное состояние.

В стальной оболочке толщиной 16 мм первой четверти компенсационного участка водовода возникли кольцевые напряжения, равные 233,9...237,2 МПа; там же, во внутреннем ряду арматуры, – 139,3...163,8 МПа, в наружном ряду

арматуры – 102,9...123,0 МПа. В стальной оболочке второй четверти компенсационного участка водовода возникли кольцевые напряжения, равные 232,8...233,6 МПа; там же, во внутреннем ряду арматуры, – 128,0...137,3 МПа, в наружном ряду арматуры – 94,2...102,0 МПа.

Таким образом, второй этап расчетных исследований НДС компенсационного участка с учетом армирования и трещинообразования практически аналогичен физическому эксперименту. Результаты в виде напряжений в стержнях арматуры и в стальной оболочке компенсационного участка свидетельствуют о том, что предложенные схемы армирования разработаны с определенным запасом и отвечают реальному состоянию сталежелезобетонного напорного водовода, в том числе его компенсационного участка.

Таблица 3. Кольцевые растягивающие напряжения в металлооблицовке и кольцевой арматуре (МПа) на компенсационном участке (КУ)

Table 3. Circular tensile stresses in metal cladding and circular reinforcement (MPa) in the compensation section (CU)

B/D	Наименование участка водовода <i>Name of the water conduit section</i>	Металло- облицовка <i>Metal cladding</i>	Внутренний ряд арматуры <i>Inner row of reinforcement</i>	Наружный ряд арматуры <i>External row of reinforcement</i>
0,5	Первая четверть КУ / First quarter of KU	234,6...238,1	170,9...173,5	126,4...128,8
0,5	Вторая четверть КУ / Second quarter of KU	234,6...238,1	170,9...173,5	126,4...128,8
1,5	Первая четверть КУ / First quarter of KU	233,9...237,2	139,3...163,8	102,9...123,0
1,5	Вторая четверть КУ / Second quarter of KU	232,8...233,6	128,0...137,3	94,2...102,0

Выводы

1. К важнейшим конструктивным особенностям напорных водоводов сталежелезобетонной конструкции относятся так называемые компенсационные участки в зоне контакта соседних сооружений – например, бетонной плотины и здания ГЭС.

2. При проведении расчетных исследований варьировалось отношение длины компенсационного участка (В) с «мягкой» низко модульной

прокладкой к диаметру водовода (D) и принималось равным 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 (при протяженности компенсационного участка от 2,0 до 6,0 м).

3. Результаты расчетов, произведенных с учетом предложенного армирования, показали, что напряжения в стальной оболочке и арматуре не превышают расчетного сопротивления: 345 МПа (текучесть) и 365 МПа соответственно.

Список использованных источников

- Архипов А.М. Турбинные водоводы с оболочками, усиленными железобетоном и скальными массивами. «Энергия». Л.: 1973, 99 с.
- Архипов А.М. Исследование напряженного состояния и прочности высоконапорного сталежелезобетонного турбинного водовода при различном армировании железобетонной оболочки / А.М. Архипов, В.М. Власов, А.Г. Линдес, Е.С. Любашевский // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Т. 204, Л.: 1988, С. 87-93.
- Мордовина А.Н. Высоконапорные водоводы больших диаметров и их развилки / А.Н. Мордовина О.И. Зеугофер / В кн.: Сборник научных трудов Гидропроект, Вып. № 18, Л.: 1970, С. 239-245.
- Рубин О.Д. Оценка напряженно-деформированного состояния и прочности компенсаторных секций КС-18

References

- Arkhipov A.M. Turbine water pipes with shells reinforced with reinforced concrete and rock massifs. "Energy". L.: 1973, 99 p.
- Arkhipov A.M. Investigation of the stress state and strength of a high-pressure steel-reinforced concrete turbine duct with various reinforcement of a reinforced concrete shell / A.M. Arkhipov, V.M. Vlasov, A.G. Lindes, E.S. Lyubashevsky // Izvestiya VNIIG named after B.E. Vedeneev. Vol. 204, L.: 1988, P. 87-93.
- Mordovina A.N. High-pressure pipelines of large diameters and their forks / A.N. Mordovina O.I. Seegofer / In: Collection of scientific papers of the Hydroproject, Issue, No. 18, L.: 1970, P. 239-245.
- Rubin O.D. Assessment of the stress-strain state and strength of the compensator sections of the KS-18 pressure

напорных трубопроводов Загорской ГАЭС / О.Д. Рубин, С.Е. Лисичкин, А.В. Неведов и др. // Гидротехническое строительство. 2001. № 9. С. 16-19.

5. Рубин О.Д. Особенности возведения напорных водоводов большого диаметра с применением мягкой прокладки / О.Д. Рубин, С.Е. Лисичкин, Р.В. Бульгин, С.А. Мальшева // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Экологическая устойчивость природных систем и роль природообустройства в ее обеспечении». М.: МГУП. 2003. С. 115-117.

6. Rubin O.D., Lisichkin S.E. «Stress-strain state and reinforcement of compensating sections of steel/reinforced-concrete pressure conduits» // Power Technology and Engineering. 2014. T. 47. № 5. P. 338-343.

7. Лисичкин С.Е. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сталежелезобетонных напорных водоводов к зданию Зарамгской ГЭС-1 / С.Е. Лисичкин Д.И. Пономарев, Р.З. Мукашов Р.З., Богаченко С.В. // «Безопасность энергетических сооружений» // Научно-технический и производственный сборник. Вып. 17 ОАО «НИИЭС», М.: 2010, С. 136-149.

8. Рубин О.Д. Анализ характера трещинообразования стен здания станционного узла ГАЭС и стен батопорта сухого дока с разработкой мероприятий по усилению / О.Д. Рубин Е.Н. Беллендир, К.Е. Фролов и др. // Природообустройство. 2022. № 4. С. 63-74. EDN: FBAMPY

9. Rubin O.D., Britvin S.O., Belkin P.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V., Yurchenko A.N. «Results of computational studies of the stress-strain state of locks no. 15 and no. 16 of the Gorodetsky complex of hydraulic structures» // Сборник материалов конференции «Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO 2022).

Об авторах

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

Николай Викторович Сермавбрин, инженер, n.sermavbrin@mail.ru

Анастасия Александровна Кадысева, д-р биол. наук, доцент, ORCID: 0000-0001-8703-5684, SPIN-код: 4485-7332, AuthorID: 698088, kadyseva@mail.ru

Наталья Борисовна Мартынова, канд. техн. наук, доцент, ORCID: 0000-0002-5282-5838, Scopus AuthorID: 57224164541, SPIN-код: 8801-5790; AuthorID: 858669; nmartynova@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ханов Н.В., Сермавбрин Н.В., Кадысева А.А., Мартынова Н.Б. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 23.07.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.08.2025

pipelines of the Zagorskaya PSPP / O.D. Rubin, S.E. Lisichkin, A.V. Nefedov et al. C // Hydraulic engineering construction. 2001. No. 9. P. 16-19.

5. Rubin O.D. Features of the construction of large-diameter pressure water pipes using soft pads / O.D. Rubin, S.E. Lisichkin, R.V. Bulygin, S.A. Malysheva // Collection of materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference, "Environmental sustainability of natural systems and the role of environmental management in its provision." Moscow: MGUP. 2003. P. 115-117.

6. Rubin O.D., Lisichkin S.E. "Stress-strain state and reinforcement of compensating sections of steel/reinforced-concrete pressure conduits" // Power Technology and Engineering. 2014. Vol. 47. No. 5. P. 338-343.

7. Lisichkin S.E. Computational studies of the stress-strain state and strength of steel-reinforced concrete pressure water pipes to the Zaramagskaya HPP-1 building / S.E. Lisichkin D.I. Ponomarev, R.Z. Mukashov R.Z., Bogachenko S.V. // "Safety of power structures" // Scientific, technical and production collection. Issue 7 of JSC "NIIES", Moscow: 2010, P. 136-149.

8. Rubin O.D., Bellendir E.N., Frolov K.E., et al., Analysis of the nature of cracking of the walls of the PSPP station building and the walls of the dry dock caisson with the development of reinforcement measures / O.D. Rubin, E.N. Bellendir, K.E. Frolov et al. // Prirodoobustroystvo. 2022. No. 4. P. 63-74. EDN: FBAMPY

9. Rubin O.D., Britvin S.O., Belkin P.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V., Yurchenko A.N. "Results of computational studies of the stress-strain state of locks No. 15 and No. 16 of the Gorodetsky complex of hydraulic structures" // Proceedings of the conference "Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering" (CONMECHYDRO 2022).

About the authors

Nartmir V. Khanov, DSs (Techn), Professor; WoS researchers: L-1087-2013; Scopus authors: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-code: 4314-8184; authors: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Nikolay V. Sermavbrin, engineer, n.sermavbrin@mail.ru
Anastasia A. Kadyseva, DSs (Biol), associate professor, ORCID: 0000-0001-8703-5684, SPIN-code: 4485-7332, authors: 698088, kadyseva@mail.ru

Natalia B. Martynova, CSs (Tech), associate professor, ORCID: 0000-0002-5282-5838, Scopus authors: 57224164541, SPIN-code: 8801-5790; AuthorID: 858669; nmartynova@rgau-msha.ru

Khanov N.V., Sermavbrin N.V., Kadyseva A.A., Martynova N.B. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-95-102>

УДК 556.53:631.6:504.4.05(470.41)



АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ДИФфуЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КАЗАНКА И РАЗРАБОТКА ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Л.В. Кирейчева, Н.П. Карпенко✉, В.М. Яшин

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

Аннотация. Проанализированы источники антропогенного загрязнения реки Казанка Республики Татарстан. Установлено, что диффузный сток формируется на водосборе в период половодья и летних паводков за счет поверхностных вод и эрозии почвы. Наибольший вклад в загрязнение водных объектов вносят сельскохозяйственные угодья, в частности, пашня, составляющая более 70% водосбора, сельскохозяйственные предприятия, включая животноводческие фермы, а также мелиоративные объекты. Выявлено, что основными загрязняющими элементами в речной воде являются азотные, фосфорные соединения, БПК₅, ХПК и др. Установлено, что содержание нитритного азота, аммонийного азота и фосфат-ионов в замыкающем створе реки Казанка в среднемноголетнем разрезе превышают предельно-допустимые концентрации (ПДК). Проведено научно-методическое обоснование и предложены превентивные меры, направленные на снижение негативного воздействия источников диффузного загрязнения на качество воды р. Казанка и ее притоков. Комплекс мероприятий по снижению загрязнения водных объектов включает организационно-хозяйственные, агротехнические, агромелиоративные, агролесолугомелиоративные мероприятия, гидротехнические и биологические методы очистки.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, водосбор, водные объекты, сельскохозяйственные и мелиорируемые земли, диффузные стоки, природоохранные мероприятия

Формат цитирования: Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Яшин В.М. Анализ источников диффузного загрязнения в бассейне реки Казанка и разработка превентивных мероприятия // Природообустройство. 2025. № 4. С. 95-102. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-95-102>

Scientific article

ANALYSIS OF SOURCES OF DIFFUSE POLLUTION IN THE KAZANKA RIVER BASIN AND DEVELOPMENT OF PREVENTIVE MEASURES

L.V. Kireicheva, N.P. Karpenko✉, V.M. Yashin

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

Abstract. The sources of anthropogenic pollution of the Kazanka River in the Republic of Tatarstan are analyzed. It is established that diffuse runoff is formed in the catchment area during high water and summer floods due to surface waters and soil erosion. The largest contribution to water pollution is made by agricultural land, in particular, arable land, which makes up more than 70% of the catchment area, agricultural enterprises, including livestock farms, as well as land reclamation facilities. It has been revealed that the main polluting elements in river water are nitrogen, phosphorous compounds, BPK₅, CPK, etc. It has been established that the content of nitrite nitrogen, ammonium nitrogen and phosphate ions in the closing section of the Kazanka River in the long-term average exceeds the maximum permissible concentrations (MPK). Scientific and methodological substantiation has been carried out and preventive measures aimed at reducing the negative impact of diffuse pollution sources on the water quality of the Kazanka River and its tributaries have been proposed. The complex of measures to reduce pollution

of water bodies includes organizational and economic, agrotechnical, agro-reclamation, agroforestry and agricultural reclamation measures, hydrotechnical and biological methods of purification.

Keywords: anthropogenic load, catchment area, water bodies, agricultural and reclaimed lands, diffuse runoff, environmental protection measures

Format of citation: Kireicheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M. Analysis of sources of diffuse pollution in the Kazanka river basin and development of preventive measures // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 95-102. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-95-102>

Введение. Ухудшающееся качество речной воды связано с антропогенным прессингом, результатом которого можно считать мало поддающееся регулированию диффузное загрязнение с сельскохозяйственных полей, мелиоративных систем, селитебных территорий, животноводческих предприятий и прочее, расположенных на водосборе. На формирование диффузного загрязнения водных объектов существенное влияние оказывают климатические, геоморфологические, почвенные условия, структура землепользования и наличие инфраструктуры. Наиболее подвержены загрязнению так называемые «малые» реки, в бассейнах которых активно развивается сельскохозяйственное производство и строительство мелиоративных систем, для которых необходимы значительные объёмы пресных вод. Потребление водных ресурсов приводит к сбросу отработанных загрязнённых вод обратно в речную сеть. Кроме того, в ряде случаев, в бассейнах не соблюдаются экологические требования, связанные с запретом сельскохозяйственной деятельности на пойменных землях и в водоохраных зонах. Следует отметить, что загрязнённые воды малых рек наносят значительный ущерб основным водотокам: выявлено, что основной объём диффузного загрязнения в реку Волга поступает из ее притоков.

Важнейшей проблемой современного развития общества является приведение в порядок малых рек: очистка их от заиления и мусора, снижение поступления загрязняющих веществ, улучшение качества речных вод, формирование водоохраных и санитарных зон. Следует отметить, что сложность проблемы заключается в выявлении источников диффузного загрязнения, а диффузное загрязнение водных объектов не регулируется государственными водохозяйственными или природоохранными ведомствами. Ответственность несут, как правило, муниципальные органы, зачастую не понимающие его ключевой роли в загрязнении водных объектов из-за недостаточной изученности проблемы.

Особую опасность в речной воде представляют биогенные загрязнители, такие как азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный и фосфаты [1-3]. Поэтому оценка качества воды

и разработка комплекса водоохраных и организационных мероприятий являются актуальной научной и практической задачей.

Цель исследований заключается в анализе основных источников диффузного биогенного загрязнения речных вод малой реки и разработке превентивных мер по его снижению.

Материалы и методы исследований. Объектом научных исследований был выбран бассейн малой реки Казанка (Республика Татарстан), имеющей длину 126 км, площадь водосбора составляет 2600 км² и являющейся левым притоком р. Волги. Речная сеть бассейна очень развита: основные правые притоки реки Казанка – Сула, Шимяковка, Красная, Атынка, Вереженка, Ия; левыми притоками являются Кисьмесь и боковые притоки р. Казанки. В процессе составления ГИС-проекта, выполненного отделом мелиоративно-водохозяйственного комплекса ФГБНУ ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», был выделен водосбор реки, площадью 2002 км² и разделен на 8 подбассейнов по основным притокам реки Казанка (рис. 1).

Более 80% водосбора составляют антропогенно-изменённые территории. По литературным данным качество воды в реке в разные периоды оценивается по-разному: от среднего загрязнения до экстремально высокого [4].

В бассейне реки Казанка источниками диффузного биогенного загрязнения являются территории и предприятия агропроизводства, земли сельскохозяйственного назначения, мелиоративные объекты, животноводческие фермы, птицефабрики, селитебные территории, полигоны твёрдых бытовых отходов, несанкционированные свалки, которые располагаются как на водосборных территориях, так и в пойме. Кроме того, в реку попадают коммунальные стоки, санкционированные и несанкционированные стоки промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Так, по данным СМИ (Lenta.ru 29.07.2023 г.) молокозавод ООО «Арча», находящийся в Арском районе, слил по трубе производственные стоки непосредственно в реку, вызвав ее экстремальное загрязнение [5].

Рассматриваемый водосбор характеризуется умеренно-континентальным климатом,

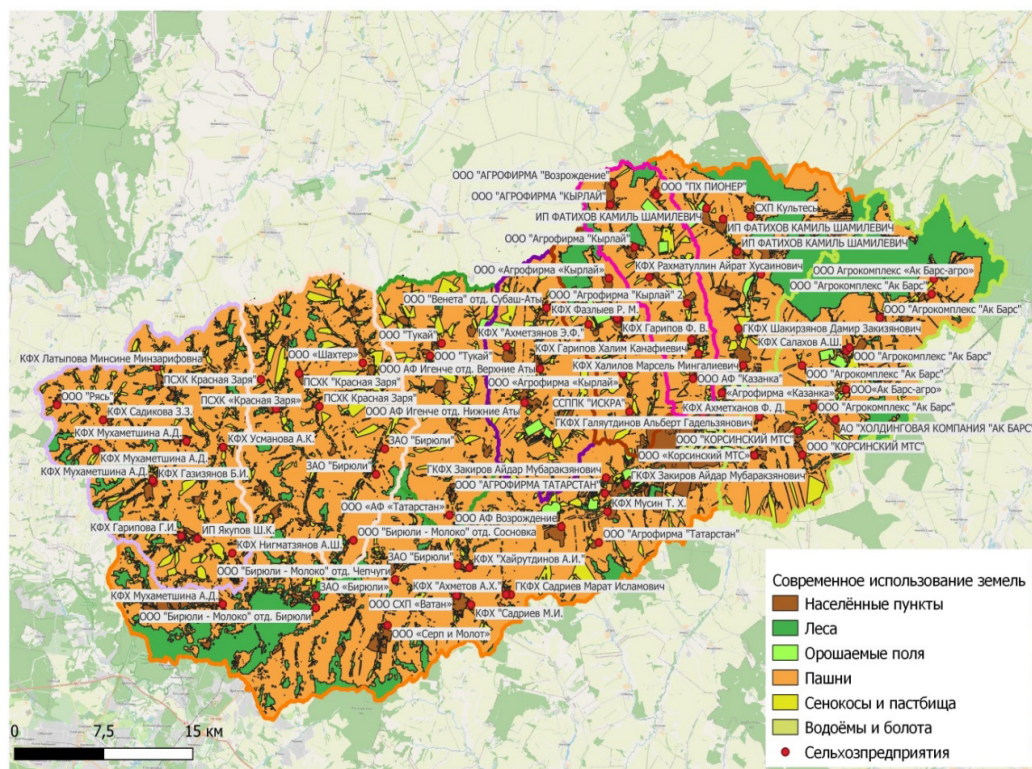


Рис. 1. Интегрированная карта современного состояния территории бассейна реки Казанка

Fig. 1. Integrated map of the current state of the Kazanka River basin

с годовым количеством осадков 530...570 мм. Годовой сток в бассейне Казанки для года 10% обеспеченности по осадкам составляет 136 мм для года 20% обеспеченности 107 мм. Основной сток наблюдается в период весеннего половодья, в период ливневых дождей сток не превышает 12...15 мм, то есть почти на порядок меньше.

Правобережная часть водосбора наклонена в сторону реки Казанки, преобладающие

уклоны 2-3°, максимальные уклоны составляют около 5°. Территория бассейна имеет достаточно высокую антропогенную нагруженность. По данным Минсельхоза Республики Татарстан площадь сельскохозяйственных земель в бассейне составляет 1423,4 км², в том числе пашни – 1403,5, сенокосов и пастбищ – 179,33, экологический каркас составляет 13,5% или 272,95 км², остальное составляют площади сельхозпредприятий, поселений, инфраструктуры и пр. (табл. 1).

Таблица 1. Структура землепользования территории бассейна реки Казанка по подбассейнам

Table 1. Structure of land use of the Kazanka River basin by sub-basins

Подбассейн Sub-basin	Сцен, км ²	Спаш, км ²	Слес, км ²	Свод, км ²	Сроп, км ²	Сор, км ²	Сarea, км ²	Средний уклон, град Average slope, degrees	Сферм, км ²
Сула / Sula	33,13	213,19	17,53	0,11	7,10	0,00	271,21	3,46	0,15
Шимьяковка / Shimyakovka	33,68	206,77	12,69	0,21	5,12	0,00	258,59	2,81	0,12
Красная / Krasnaya	19,42	116,80	2,72	0,00	4,73	0,93	144,65	2,33	0,045
Атынка / Atynka	16,10	103,26	2,06	0,01	4,40	3,70	129,61	2,25	0,075
Верезинка / Verezinka	8,56	69,16	10,61	0,04	5,51	2,42	96,39	2,25	0,09
Ия / Iya	9,44	90,08	7,81	0,02	6,46	2,22	116,165	1,9	0,135
Кисьмесъ / Kisjmesj	18,35	183,82	85,77	0,86	8,95	3,31	301,27	1,93	0,21
Казанка / Kazanka	40,65	452,44	129,53	2,98	51,92	6,61	684,52	2,39	0,39
Итого по бассейну Total for the basin	179,33	1403,52	268,72	4,23	94,19	19,19	2002,41		1,215

Примечание: Сцен – площадь сенокосов; Спаш – площадь пашни; Слес – площадь леса; Свод – площадь водных объектов; Сроп – площадь поселений; Сор – площадь орошаемых земель; Sarea – общая площадь; Сферм – площадь, занимаемая фермами.

Note: Scen – area of hayfields; Spash – area of arable land; Sles – area of forest; Svod – area of water bodies; Sroп – area of settlements; Sor – area of irrigated land; Sarea – total area; Сферм – area occupied by farms.

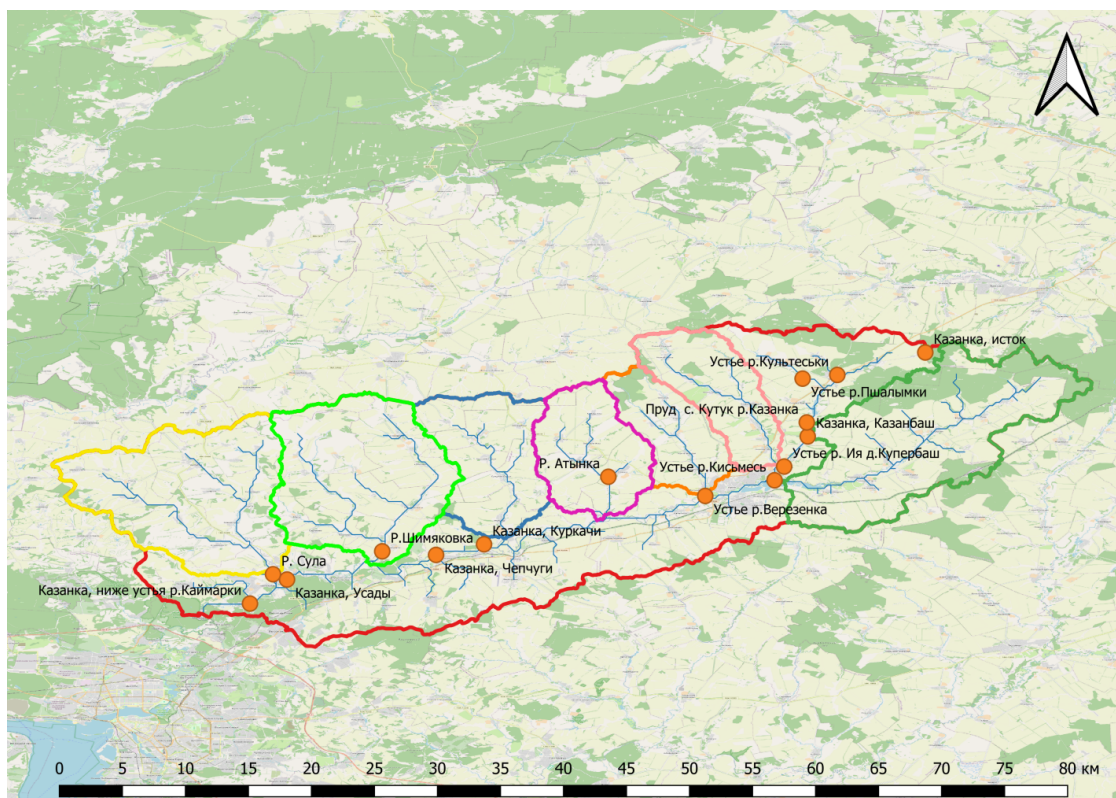


Рис. 2. Схема размещения створов гидрохимического мониторинга

Fig. 2. Layout of hydrochemical monitoring sites

В структуре сельскохозяйственного производства преобладают зерновые и зернобобовые культуры, доля которых составляет 40%.

В бассейне функционируют 85 сельскохозяйственных предприятий, включающих животноводческие фермы, птицефабрики, хозяйства для разведения овец и прочие (рис. 1). Кроме того, со сточными водами из точечных источников в реку поступают нитрат-ионы, фосфат-ионы, БПК₅, ХПК и прочие загрязнители. Анализ гидрохимических показателей воды проводился по створам р. Казанки, схема размещения которых приведена на рисунке 2.

По результатам систематического мониторинга качества речных вод в бассейне реки Казанка, осуществляемого с 2014 года Министерством экологии и природных ресурсов Республики Татарстан (МЭПР РТ) в створах Кутук, Казанбаш, Чепчути и Усады (см. рис. 2), вода в реке по комбинаторному показателю биогенных веществ в многолетнем разрезе (2014–2024 гг.) оценивается в верхнем течении как слабо загрязненная, в среднем течении как очень загрязненная и в нижнем течении как грязная. Это свидетельствует о том, что в речную сеть с водосбора на всем протяжении реки с поверхностным, внутрипочвенным и подземным стоком поступает биогенные загрязнители из точечных и диффузных источников.

Результаты и обсуждение. Оценка степени текущего загрязнения воды в реке Казанка по биогенным загрязнителям (аммоний, нитраты, нитриты, фосфатный фосфор, БПК₅ и ХПК) проводилась за период январь – сентябрь 2023 г. по данным МЭПР РТ по 7 створам от истока до створа Усады, расположенного в нижнем течении реки. Основной механизм поступления диффузного загрязнения – поверхностный, внутрипочвенный и почвенно-грунтовый сток. Как видно из диаграмм, представленных на рисунке 3, содержание биогенных веществ в речной воде по продольному профилю различается для каждого ингредиента.

Диффузное поступление азотных соединений связано со смывом остатков удобрений с сельскохозяйственных полей. По данным Минсельхоза Республики Татарстан в качестве азотных удобрений используются аммиачная селитра и аммиачная вода, что определяет их высокую миграционную способность. Фосфаты поступают с твердым стоком за счет развития эрозионных процессов, а также с бытовыми сточными водами. В верхнем течении реки (створ Кутук и Казанбаш) отмечается повышенное значение БПК₅, что возможно связано с сельскохозяйственными и фекальными стоками. Для верхнего и среднего течения реки характерно превышение ПДК по содержанию ионов аммония и биологического

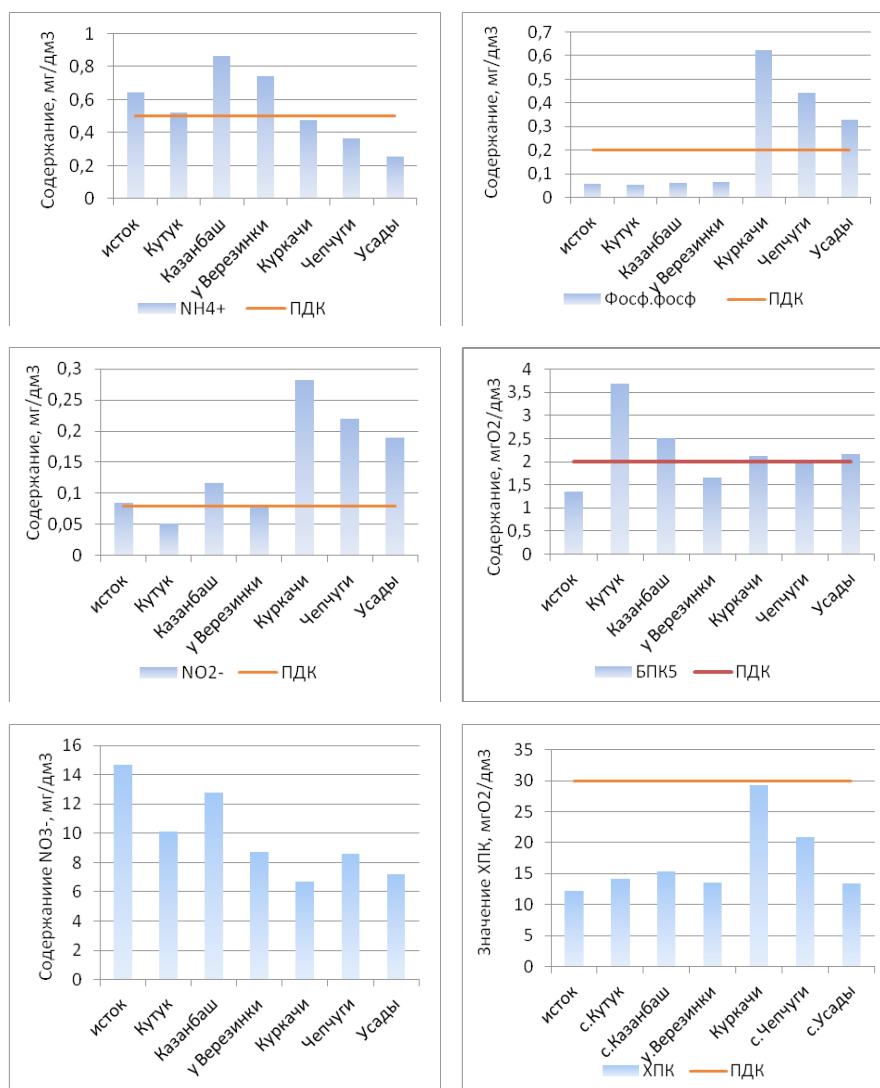


Рис. 3. Распределение по продольному профилю р. Казанка средних концентраций загрязнителей за период январь – сентябрь 2023 г. (построено по данным МЭПР РТ, ПДК даны в соответствии с [6])

Fig. 3. Distribution of average pollutant concentrations along the longitudinal profile of the Kazanka River for the period January – September 2023

(built according to the data from the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, MPCs are given in accordance with [6])

потребления кислорода (BPK_5), что может быть связано со стоками промышленных и транспортных предприятий, мусорными свалками, так как вблизи находится административный центр Арск с железнодорожной станцией и населением около 20 тыс. человек, а также молокозавод «Арча». В нижнем течении в речной воде наблюдается повышенное содержание нитритов и XPK , что свидетельствует о высокой степени загрязнения трудно разлагаемыми органическими веществами. Учитывая огромное количество сельскохозяйственных предприятий, равномерно распределенных по всему бассейну (фермы, птицефабрики и т.д.), которые, как правило, не имеют очистных сооружений, то с животноводческими стоками и отходами их производства

в поверхностные стоки, а затем в реку поступают различные биогенные вещества. Все это негативно влияет на качество речной воды.

Снижение диффузного стока представляет возможным путем организации и проведения мероприятий, которые позволяют свести до допустимых значений потери почвы на сельскохозяйственных землях и существенно снизить загрязнение поверхностных вод. Среди превентивных мер по снижению загрязнения водных объектов первостепенное значение имеют организационно-хозяйственные и нормативно-правовые меры, соблюдение которых должно стать безусловными к выполнению всеми производителями. К организационным мероприятиям относится соблюдение правил хранения и размещения отходов

животноводства, минеральных удобрений и мелиорантов, недопущение проведения сельскохозяйственных работ в водоохранных зонах, исключение сброса в реку сточных вод и животноводческих стоков без предварительной очистки, ликвидация несанкционированных свалок в водоохранных зонах и на водоразделе [7-8]. К нормативно-правовым мерам относится содержание водоохранных зон и прибрежных защитных полос, на которых устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов.

На землях сельскохозяйственного назначения, особенно на пашне, следует применять известные противоэрозионные агротехнические приемы, включающие: почвозащитную обработку полей, повышение впитывающей способности почвы, кулисные посевы, мульчирование, снегозадержание и прочие приемы. Кроме того, рекомендуется увеличить долю многолетних трав в составе севооборотов не менее, чем на 15-20%. Агромелиоративные мероприятия выбираются в зависимости от характера сельскохозяйственного использования земель, от условий рельефа и почвы и включают узкозагонную вспашку, профилирование поверхности, выборочное бородование, гребневание, грядование почвы, щелевание, кротование, глубокое рыхление и т.д. На землях с уклоном выше 5° рекомендуется проектирование специальных гидротехнических сооружений, обеспечивающих перехват поверхностных вод и исключающих размывы и оврагообразование [9].

Важное значение придается улучшению и дальнейшему развитию экологического каркаса, включающего дополнительное лесонасаждение; прибалочное лесонасаждение; поверхностное и коренное улучшение травостоя, залужение сенокосов и пастбищ, склонов овражной сети.

Биологические методы снижения диффузного стока направлены на перехват загрязняющих веществ посредством строительства биоплато, которое представляет собой агроинженерные сооружения, использующие естественные свойства природных сорбционных веществ, высшей водной растительности, бактериальных заселений зарослей, планктонных водорослей, способных разлагать, поглощать органические соединения и выполнять очистку воды [10].

На основе анализа литературных источников и натурных исследований, выполненных в аналогичных природно-климатических условиях, проведено ранжирование мероприятий по возможному сокращению диффузного загрязнения (рис. 4).

Первоочередными превентивными мероприятиями для снижения диффузного стока с земель сельскохозяйственного назначения следует считать организационно-хозяйственные и агротехнические мероприятия, выполнение которых обязательно для всех сельскохозяйственных товаропроизводителей [11-12].

Кроме того, рекомендуется пересмотреть структуру севооборотов в плане увеличения доли многолетних трав, заменить использование хорошо растворимых в воде минеральных удобрений в виде аммиачной селитры на более экологичные и комплексные труднорастворимые (аммофос, аммофоска, нитрофоска и прочие) удобрения. Применение указанных мероприятий обеспечит снижение смыва остатков азота с пашни на 20%, а фосфора на 5%.

Для снижения смыва почвы рекомендуется проведение противоэрозионных мероприятий, особое внимание следует уделить подбассейнам Сула, Шимяковка, Красная, Атынка, Вerezинка, Ия и левых притоков р. Казанки, где наибольший эффект может быть получен от проведения лесомелиоративных мероприятий, которые обеспечат

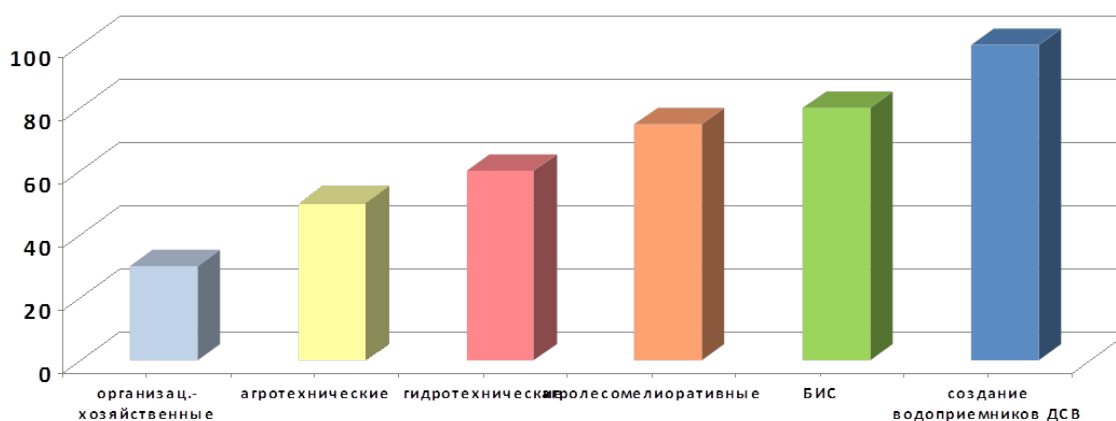


Рис. 4. Ранжирование мероприятий по сокращению диффузного загрязнения речной воды

Fig. 4. Ranking of measures to reduce diffuse pollution of river water

предотвращение эрозионного смыва и снижение поверхностного стока. Лесомелиорация в первую очередь должна быть направлена на восстановление действующих лесополос и в последующем на создание новых лесополос на землях сельскохозяйственного назначения, где наиболее ярко проявляется эрозия.

С целью предотвращения смыва животноводческих стоков поверхностными водами в период половодья и паводков первоочередным мероприятием является обвалование территории ферм, в дальнейшем переход на животноводческие комплексы с водоборотными системами.

Особое внимание следует уделить первоочередным мероприятиям в подбассейне р. Кисьмень, на территориях которого располагается большое количество животноводческих предприятий и прудов полносистемного рыбоводного хозяйства, которые осуществляют несанкционированный сброс загрязняющих биогенных веществ без разработанного, утвержденного и согласованного в уполномоченном органе разрешения на сброс сточных вод и проекта нормативов допустимых сбросов. С целью предотвращения сброса загрязненных стоков в реку с водосбора р. Кисьмень рекомендуется предусмотреть проектирование и строительство мало энергоемких инженерных биологических сооружений (БИО-ПЛАТО) для естественной биологической очистки сбрасываемых из рыбозаводных прудов вод, что позволит провести рекультивацию и очистку водных объектов.

Выводы

На основе выполнения анализа природных условий и детального изучения современного состояния хозяйствования в бассейне реки Казанка установлены основные диффузные источники биогенного загрязнения реки Казанки, среди которых значительный вклад вносят сельскохозяйственные угодья, в частности,

Список использованных источников

1. Карпенко Н.П. Оценка риска поступления диффузного стока с сельскохозяйственных земель // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 4. С. 15-19. EDN: TVNIVO
2. Кирейчева Л.В. Роль мелиорированных земель в диффузном загрязнении речных вод биогенными веществами / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 10. С. 28-32. EDN: LAFDKM
3. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. Коллективная монография под руководством В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.
4. Корчева Е.С. Оценка качества воды реки Казанка / Е.С. Корчева, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев

пашня. За счет развития эрозионных процессов с поверхностным стоком в реку поступают взвешенные частицы (твердый сток) и остатки смываемых с полей удобрений. Сельскохозяйственные предприятия, включая животноводческие фермы, а также мелиоративные объекты, расположенные на водосборных территориях и поймах рек, не имеют организованного стока, утилизации отходов и очистных сооружений, что приводит к выносу азотных, фосфорных и калийных соединений, а также органических загрязнителей. Выявлено, что содержание загрязняющих веществ (нитритного азота, аммонийного азота и фосфат-ионов) в замыкающем створе реки Казанка в среднемноголетнем разрезе превышают предельно-допустимые концентрации. Проведено научно-методическое обоснование превентивных водоохранных и организационных мероприятий, направленных на предотвращение негативного воздействия источников диффузного загрязнения на качество воды р. Казанка и ее притоков. Снижение диффузного стока возможно путем организации территории и проведения, соответствующих природным условиям, мероприятий, которые позволяют свести до допустимых значений потери почвы на сельскохозяйственных землях от эрозионных процессов и исключить загрязнение поверхностных вод, а также комплекс водоохранных мероприятий, снижающих поступление загрязнений непосредственно в водный объект. Комплекс мероприятий по предотвращению или уменьшению загрязнения водных объектов рекомендуется подразделить на группы, что позволит определить хозяйствующий субъект для выполнения указанных мероприятий: организационно-хозяйственных; агротехнических; агромелиоративных, агролесолугомелиоративных и биологических методов очистки сточных вод, которые непосредственно поступают в речную сеть.

References

1. Karpenko N.P. Assessment of the risk of diffuse runoff from agricultural lands // Land reclamation and water management. 2024. No. 4. pp. 15-19. EDN: TVNIVO
2. Kireicheva L.V., Yashin V.M. The role of reclaimed lands in diffuse pollution of river waters by biogenic substances // International Technical and Economic Journal. 2020. No. 10. pp. 28-32. EDN: LAFDKM
3. Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions. A collective monograph under the direction of V.I. Danilov-Danilyan. Moscow: RAS, 2020. 512 p.
4. Korcheva E.S., Stepanova S.V., Shaikhiev I.G. Assessment of the water quality of the Kazanka river // Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19. No. 20. pp. 186-189. EDN: XAMGSZ

// Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 20. С. 186-189. EDN: XAMGSZ

5. <https://kazanfirst.ru/> [Электронный ресурс].

6. САНПИН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Минздрав России, 2021. 986 с.

7. Федеральный закон № 7-ФЗ Об охране окружающей среды. Введ. 2002-01-10. М.: Правительство РФ, 2002. 33 с.

8. Водный Кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). М.: Правительство РФ. 51 с.

9. Полужетов Е.В. Эрозия почв и плодородие. Монография. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.

10. Рациональное водопользование: учебное пособие. / И.В. Глазунова, В.Н. Маркин, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович. М.: ЗАО «Университетская книга», 2022. 136 с.

11. Кирейчева Л.В. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне Верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы / Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д., Яшин В.М. // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535. EDN: АТЕНТА

12. Кирейчева Л.В. Оценка выноса биогенных веществ с водосбора малой реки и меры по его снижению / Л.В. Кирейчева В.М. Яшин, А.Д. Тимошкин, А.Д. // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 6. С 53-59. EDN: ТОHPWS

Об авторах

Людмила Владимировна Кирейчева, д-р техн. наук, профессор, руководитель отдела природоохранных и информационных технологий, руководитель направления мелиорация; <https://orcid.org/0000-0002-7114-2706>; SPIN3319-5340, WoS ResearcherID ABG-6588-2021, Scopus AuthorID39; kireychevalw@mail.ru

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

Валерий Михайлович Яшин, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, vniigimjasin@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Яшин В.М. выполнили экспериментальные и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 24.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 06.07.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 06.07.2025

5. <https://kazanfirst.ru/> [Electronic resource].

6. SANPIN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». M.: Ministry of Health of Russia, 2021. 986 p.

7. Federal Law, No. 7-FZ On Environmental Protection. Introduction. 2002-01-10. M.: Government of the Russian Federation, 2002. 33 p.

8. The Water Code of the Russian Federation dated 06/03/2006 N74-FZ (as amended on 08/08/2024) (as amended and supplemented, intro. effective from 01.01.2025). M.: Government of the Russian Federation. 51 p.

9. Poluektov E.V. Soil erosion and fertility: monographic. Novocherkassk: Lik, 2020. 229 p.

10. Rational water use: the training manual. / I.V. Glazunova, V.N. Markin, S.A. Sokolova, L.D. Ratkovich. M.: CJSC «University Book», 2022. 136 p.

11. Kireycheva L.V., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D., Yashin V.M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the Upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River. 2020. Vol. 47. No. 5. pp. 523-535.

12. Kireycheva L.V., Yashin V.M., Timoshkin A.D. Assessment of nutrient removal from the Malaya River catchment and measures to reduce it // Ecology and industry of Russia. 2022. Vol. 26. No. 6. Pp. 53-59. EDN: TOHPWS

About the authors

Lyudmila V. Kireicheva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Protection and Information Technology, Head of Land Reclamation; <https://orcid.org/0000-0002-7114-2706>; SPIN3319-5340, WoS ResearcherID ABG-6588-2021, Scopus AuthorID39; kireychevalw@mail.ru

Nina P. Karpenko, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; nkarpenko@yandex.ru

Valery M. Yashin, Ph D. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, vniigimjasin@mail.ru

Kireicheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M. carried out experimental and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication. All authors are equally responsible for violations in the field of ethics of scientific publications.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-103-110>

УДК 627.41: 551.466, 551.465.5(477.75)



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕМКОСТИ ПОТОКА НАНОСОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА УЧАСТКЕ ТУАПСЕ-АДЛЕР СКЖД

Г.В. Тлявли́на^{1,2✉}, К.Н. Мака́ров³, Р.М. Тлявлин¹

¹ Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства», Научно-исследовательский центр «Морские берега»; 354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1, Россия

² Российский университет транспорта (МИИТ); 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, Россия

³ Сочинский государственный университет; 354003, г. Сочи, ул. Пластунская, 94, Россия

Аннотация. Объектом исследований, представленных в статье, являются литодинамические процессы в береговой зоне моря. Рассматривается проблема оценки транспорта наносов под воздействием штормовых волн с целью выбора метода инженерной защиты. Рассмотрен участок между реками Куапсе и Свирская Лазаревского района г. Сочи, вдоль которого проходит железнодорожное полотно. Для этого участка выполнено математическое моделирование емкости потока наносов в береговой зоне. Исследования проведены с использованием метода математического моделирования. Математическое моделирование выполнено на основе цифровых моделей местности по методикам, которые использованы авторами в качестве основы нормативных методов расчета литодинамических характеристик морской береговой зоны в СП 277.125800.2016. Даны результаты расчетов транспортирующей способности водного потока (емкости) вдольберегового потока наносов в среднемноголетнем разрезе на исследуемом участке. Приведены результаты моделирования транспорта наносов в штормах обеспеченностью 2%. В процессе моделирования исследована ситуация, когда волногасящая полоса полного профиля отсыпана из материала со средней крупностью 70 мм.

Ключевые слова: берегозащита, емкость потока наносов, инженерная защита, литодинамические исследования, математическое моделирование, морские волны

Формат цитирования: Тлявли́на Г.В., Мака́ров К.Н., Тлявлин Р.М. Моделирование емкости потока наносов для проектирования берегозащитных сооружений на участке Туапсе-Адлер СКЖД // Природообустройство. 2025. № 4. С. 103-110. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-103-110>

Scientific article

MODELING OF SEDIMENT FLOW CAPACITY FOR DESIGNING COASTAL PROTECTION STRUCTURES ON THE TUAPSE-ADLER SECTION OF THE NORTH CAUCASUS RAILWAY

G.V. Tlyavlina^{1,2✉}, K.N. Makarov³, R.M. Tlyavlin¹

¹ Joint Stock Company «Central Scientific Research Institute of Transport Construction», R&D Centre «Morskie berega»; 354002, Sochi, Yana Fabritciusa str., 1, Russia

² Russian University of Transport (MIIT); 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova St, 9, B. 9, Russia

³ Sochi State University; 354003, Sochi, Plastunskaya st, 94, Russia

Abstract. In this article, the object of research is the lithodynamic processes in the coastal zone of the sea. The problem of assessing sediment transport under the influence of storm waves is considered in order to select a method of engineering protection. The section between the Kuapse and Svirskaya rivers of the Lazarevsky district of Sochi, along which the railway line runs, is considered. Mathematical modeling of sediment flow capacity in the coastal zone was performed for this site. The research was carried out using mathematical modeling. Mathematical modeling was performed based on digital terrain models using the methods used by the authors as the basis for regulatory methods for calculating the lithodynamic characteristics of the marine coastal zone in SP 277.125800.2016. The results of calculations of the transport capacity of the water flow (capacity) of the alongshore sediment flow in the average annual section of the study area are presented. The results of modeling the transport of sediment in storms with a 2% probability are also presented. During the modeling process, the situation was studied when the full-profile wave-absorbing strip was filled with material with an average grain size of 70 mm.

Keywords: coastal protection, sediment flow capacity, engineering protection, lithodynamic studies, mathematical modeling, sea waves

Format of citation: Tlyavlina G.V., Makarov K.N., Tlyavlin R.M. Modeling of sediment flow capacity for the design of coastal protection structures on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 103-110. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-103-110>

Введение. При проектировании морских берегозащитных сооружений одной из наиболее сложных задач является правильная оценка существующих литодинамических процессов в береговой зоне [1-3]. Литодинамические исследования являются составной частью гидрометеорологических изысканий, при выполнении которых в общем случае необходимо выполнить следующие виды работ: выделить литодинамические системы, оценить интенсивность литодинамических процессов, изучить динамику наносов и спрогнозировать возможные деформации берегов и дна.

Основной характеристикой динамики наносов в морской береговой зоне в свою очередь является емкость потока наносов (то есть максимальное количество наносов, которое волны и течения способны перемещать вдоль рассматриваемого участка берега). В зависимости от направления перемещения наносов относительно берега различают поперечное и продольное перемещение наносов [4, 5].

В работе на примере конкретного участка берега исследованы процессы возможного перемещения наносов волнами.

Участок расположен на Черноморском побережье Краснодарского края, в Лазаревском районе г. Сочи между реками Куапсе и Свирская. Участок является частью бухты, образованной аккумулятивными выступами рек Аше и Псезуапсе. В плане он представляет собой относительно ровный берег, азимут которого в среднем составляет 145° . Средний уклон дна – $i = 0,022$. Вдоль всего рассматриваемого участка проходит линия железной дороги. Полотно железнодорожного пути проходит полувыемкой в непосредственной близости от берега моря. Искусственные сооружения на рассматриваемом участке представлены малыми мостами, водопропускными трубами и лотками, волноотбойными и подпорными стенами [6-8].

В связи с сокращением твердого стока р. Аше и перехватом системой бун, расположенной на участке берега между устьями рек Аше и Куапсе, рассматриваемый участок берега находится в зоне низовых размывов. В настоящее время пляжный материал из вдольберегового потока наносов на участок берега, расположенный на 1910-1911 км СКЖД, не поступает, то есть мощность потока наносов практически равна нулю [7].

Для оценки исходного объема отсыпок выполнено математическое моделирование емкости вдольберегового потока наносов (транспортирующей способности водного потока) на участке.

Цель исследований: изучение литодинамических процессов в береговой зоне моря, проблем оценки транспорта наносов под воздействием штормовых волн с целью выбора метода инженерной защиты; математическое моделирование емкости потока наносов в береговой зоне.

Материалы и методы исследований. Метод исследований – математическое моделирование. Используемая математическая модель основана на методах расчета, содержащихся в СП 277.125800.2016 и реализованных в программных комплексах профессора К.Н. Макарова, а именно на методиках расчетов морского волнения, воздействия волн на берегозащитные сооружения и пляжи, перемещения инертных материалов, а также использованы оригинальные разработки авторов по динамике галечных пляжей [4, 8].

При выполнении математического моделирования на предварительном этапе разрабатывались цифровые модели местности акватории [8]. По этим моделям рассчитывался также вдольбереговой транспорт наносов.

Результаты и их обсуждение. Объемы перемещаемых наносов меняются от шторма к шторму. Это обусловлено вариациями силы и направления волнения и течений в различных штормах, которые вызывают подвижки наносов различных величин и направлений (миграции наносов). Сумма миграций за некоторый (обычно годовой) период времени называется вдольбереговым потоком наносов.

Различают емкость (транспортирующую способность водного потока), то есть предельно возможный перенос наносов во вдольбереговом потоке, и мощность (расход) – реально транспортируемый объем наносов.

В работах [4, 9-12] представлены различные методы расчета емкости вдольберегового транспорта наносов, показывающие в некоторой степени теоретико-эмпирическую природу. Тем не менее основная часть авторов ориентируется на построение зависимостей, характерных видов, полученных в источниках [4, 13, 14]:

$$Q = f(h_{cr}, d_{cr}, d_{50}, A_{cr}, tg\varphi_0), \quad (1)$$

где Q – емкость потока наносов; h_{cr} – высота волны, зарегистрированной на линии последнего обрушения; d_{50} – средний диаметр частиц наносов, характеризующий средний размер взвешенных компонентов; A_{cr} – угол, под которым волны расположены точно к линии обрушения, влияющие на динамику переноса материала; $tg\varphi_0$ – уклон, отражающий устойчивый баланс между депозиционными и абразионными процессами в прибрежной зоне.

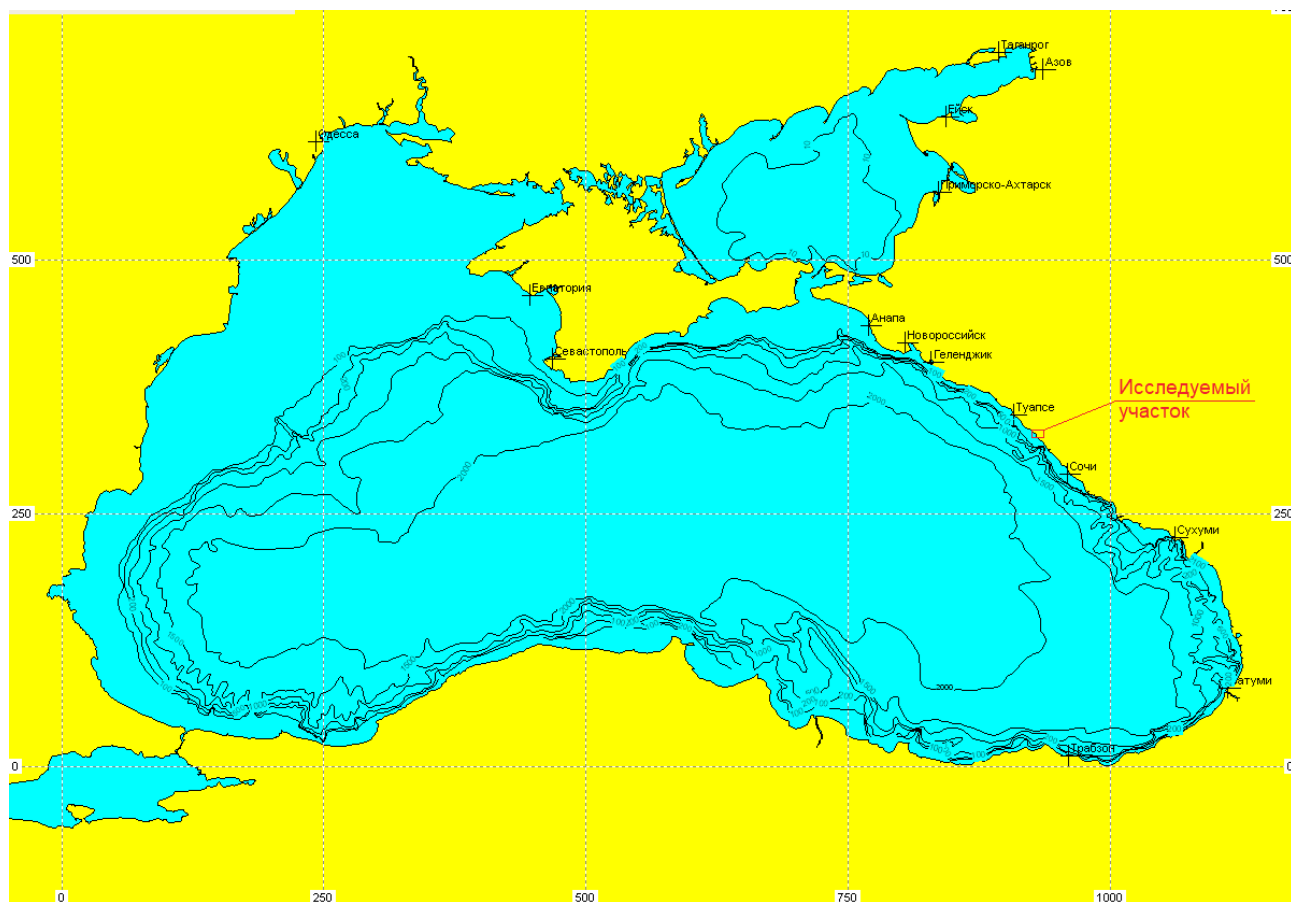


Рис. 1. Отображение цифровой модели Черного моря

Fig. 1. Display of the digital model of the Black Se

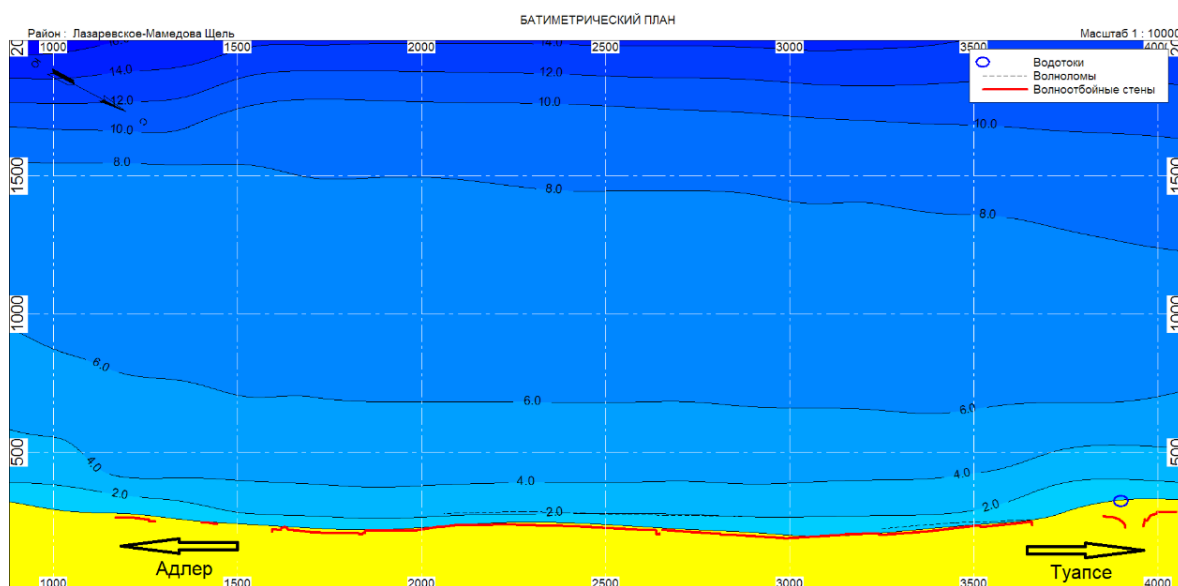


Рис. 2. Отображение цифровой модели участка исследований

Fig. 2. Display of a digital model of the research area

Таблица 1. Расположение расчетных створов

Table 1. Location of the design cross-sections

№	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Коорд. по оси X X-axis coord.	680	850	1020	1190	1360	1530	1700	1870	2040	2210	2380	2550	2720	2890	3060	3230

Фактическая мощность вдольберегового потока наносов рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_m = Q K_{red} \quad (2)$$

где Q_m – фактическая мощность потока наносов; K_{red} – коэффициент, отражающий влияние на дефицит наносного материала на подводном береговом склоне, а также наличие инженерных сооружений, изменяющих природные условия транспортировки.

Данные зависимости применимы к песчаным наносам и выражаются через формулу:

$$Q = 0,0023g \left(\frac{v}{D_{50\%}} \right)^{0,5} (h_{cr13\%} \bar{T})^{1,5} \sin 2\Theta, \quad (3)$$

где v – коэффициент кинематический вязкости воды, m^2/c ; $D_{50\%}$ – типичный диаметр зерен песка, который отражает преобладающий класс размеров фракций, м; $h_{cr13\%}$ – высота волн, фиксируемая по линии первого обрушения, обеспеченностью 13% в системе, м; Θ – угол между направлением волнового луча на линии первого обрушения и нормалью к береговой линии, град.

Для галечных наносов с диаметром частиц, превышающим 2 мм, вычисление емкости потока наносов производится на основании следующей зависимости:

$$Q = 0,087 \frac{\rho}{\rho_n} g \frac{h_{cr}^3 \bar{T} \Delta t}{k_{ок} d_{50\%}} \sin 2\alpha_{cr}, \quad m^3/сут., \quad (4)$$

где h_{cr} – высота волны по линии последнего обрушения, м; $\bar{T}$ – средний период волн, с; $d_{50\%}$ – медианный диаметр пляжеобразующего материала, м; ρ_n – объемный вес наносов, $кг/м^3$; ρ – объемный вес воды, $кг/м^3$; α_{cr} – угол подхода волн к линии последнего обрушения, град.; Δt – время действия данного волнения, сут.; $k_{ок}$ – коэффициент, учитывающий влияние степени окатанности пляжевого материала на интенсивность его перемещения.

Известно, что при подходе морских волн к берегу под некоторым углом направление движения жидкости не совпадает с направлением силы тяжести, которая всегда направлена по нормали к берегу (по линии наибольшего ската) [4, 5].

Этим обусловлено то, что частицы наносов движутся по неким криволинейным траекториям, не совпадающим с направлением распространения волн. При этом наибольший объем перемещения наблюдается в узкой прибрежной полосе. Для условий Черноморского побережья Кавказа при сильных штормах скорость перемещения гальки достигает $0,9 \div 1,0$ км/сут., а мощность – до $4 \div 5$ тыс. $m^3/сут.$

Расчетные скорости ветра от волноопасных для исследуемого участка направлений повторяемостью 1 раз за 50 лет составляют 24 м/с.

Для моделирования литодинамических процессов на данном участке берега приняты следующие параметры волнения обеспеченностью 1%, полученные в работе [8]:

- высота волн на глубокой воде – $11,2 \div 11,7$ м;
- высота волн по линии последнего (второго) обрушения – $h_{cr1\%} = 4,2$ м;
- глубина обрушения волн – $d_{cr1\%} = 5,3$ м;
- средний период волн – $T = 9,8$ с;
- средняя длина волн – $\lambda = 53$ м;
- угол между лучом волны и нормалью к линии берега – 8° .

Также в работе [8] получены параметры волнения обеспеченностью 5 и 30%:

- высота волн по линии последнего обрушения – $h_{cr5\%} = 3,7$ м; $h_{cr30\%} = 2,8$ м;
- глубина последнего обрушения – $d_{cr5\%} = 4,6$ м; $d_{cr30\%} = 3,5$ м.

Среднегодовое волнение для района исследований представлена на рисунке 3.

На участке Туапсе-Адлер пляжи в естественных условиях представлены галькой средней крупности. Поэтому математическое моделирование литодинамических процессов на этом участке выполнено для полнопрофильной волногасящей полосы из материала со средней крупностью 70 мм (табл. 2).

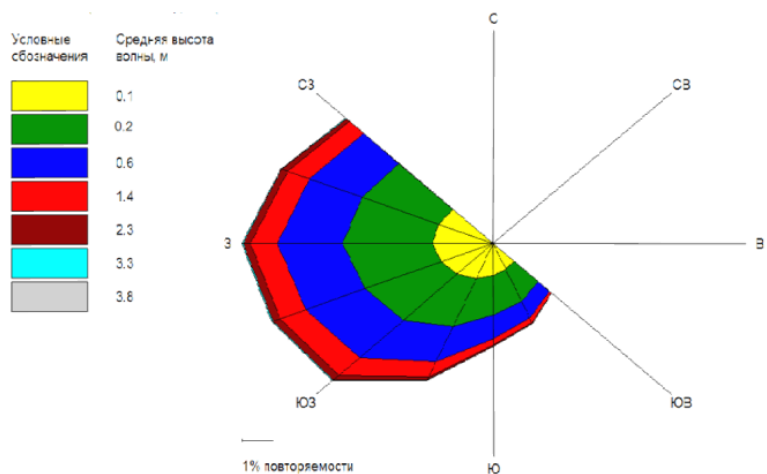


Рис. 3. Среднегодовое волнение для района исследований

Fig. 3. The average long-term rose of wave for the research area

Таблица 2. Результаты расчета емкости среднемноголетнего вдоль берегового потока наносов по створам ЦММ участка проектирования

Table 2. The results of the calculation of the capacity of the average long-term coastal sediment flow along the cross-sections of the CMM design site

№ створа ЦММ No CMM cross-section	Азимут участка берега, градус Azimuth of the seashore section, degree	Емкость среднемноголетнего вдольберегового потока наносов со средней крупностью 70 мм, м ³ /год Capacity of the average long-term sediment flow along the seashore with an average particle size of 70 mm, m ³ /year		
		на СЗ	на ЮВ	Результирующий
5	330	15198	24423	9225
6	334	16397	21489	5092
7	333	16167	22195	6028
8	331	15538	23749	8211
9	332	15780	23204	7424
10	330	15299	24232	8933
11	328	14765	25158	10393
12	324	13159	27090	13931
13	321	11608	28232	16624
14	323	12527	27619	15092
15	327	14237	25911	11674
16	329	15028	24726	9698
17	329	15018	24743	9725
18	329	15056	24677	9621
19	325	13874	26354	12480
20	320	11225	28443	17218
Среднее Average	328	14430	25140	10710

Таблица 3. Емкость штормовых потоков наносов (1 раз за 50 лет) в тыс. м³/сутки на участке проектирования по створам ЦММ

Table 3. The capacity of storm sediment flows (1 time in 50 years) in thousand m³/day at the design site along the CMM cross-sections

№ створа ЦММ No CMM cross-section	Направление шторма / Storm direction						
	ЮЮВ / SSE	Ю / S	ЮЮЗ / SSW	ЮЗ / SW	ЗЮЗ / WSW	З / W	ЗСЗ / WNW
5	7,4	11,9	17,3	12,5	-9,2	-26,9	-17,2
6	6,8	11,3	17,6	15,2	-4,2	-25,0	-17,5
7	6,9	11,5	17,6	14,6	-5,4	-25,5	-17,5
8	7,3	11,7	17,4	13,2	-8,0	-26,5	-17,3
9	7,1	11,6	17,5	13,8	-7,1	-26,1	-17,4
10	7,4	11,8	17,3	12,7	-8,9	-26,8	-17,3
11	7,6	12,0	17,2	11,6	-10,6	-27,4	-17,1
12	8,2	12,4	16,5	8,5	-14,4	-28,5	-16,6
13	8,6	12,6	15,7	5,6	-17,0	-29,0	-16,1
14	8,4	12,4	16,2	7,3	-15,5	-28,8	-16,4
15	7,8	12,1	17,0	10,6	-12,0	-27,8	-16,9
16	7,5	11,9	17,3	12,2	-9,8	-27,1	-17,2
17	7,5	11,9	17,3	12,1	-9,8	-27,1	-17,2
18	7,5	11,9	17,3	12,2	-9,7	-27,1	-17,2
19	7,9	12,2	16,8	9,9	-12,9	-28,1	-16,8
20	8,7	12,6	15,5	5,0	-17,5	-29,1	-16,0
Среднее	7,7	12,0	17,0	11,1	-10,8	-27,3	-17,0

Примечание: положительный поток наносов направлен в сторону г. Туапсе, отрицательный – в сторону Адлера

Note: the positive flow of sediment is directed towards the city of Tuapse, the negative flow is directed towards Adler

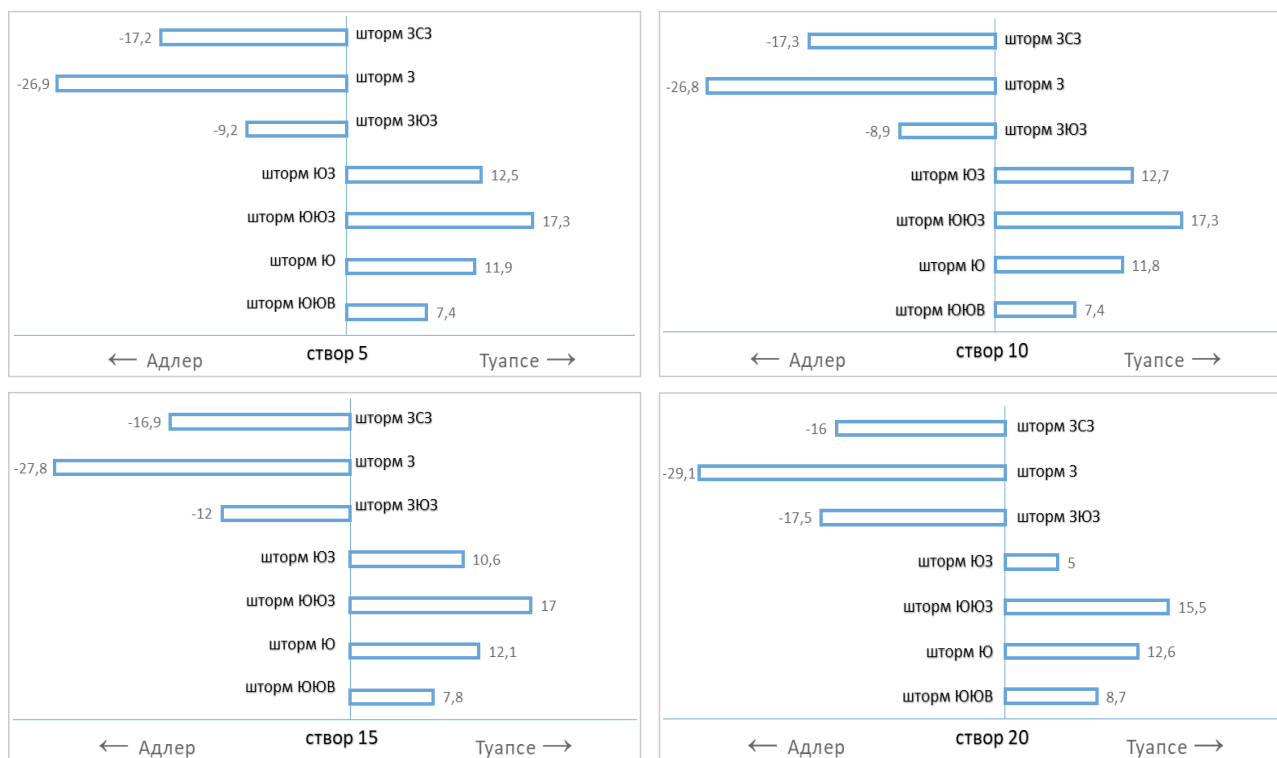


Рис. 4. Емкость потока наносов по расчетным створам 5, 10, 15 и 20 в штормах повторяемостью 1 раз в 50 лет, м³/сутки

Fig. 4. Sediment flow capacity according to design cross-sections 5, 10, 15 and 20 in storms repeatability 1 time in 50 years, m³/day

Из данных таблицы 2 следует, что в случае отсыпки на проектном участке пляжа полного профиля из материала со средней крупностью 70 мм среднегоголетний вдольбереговой поток наносов будет направлен на ЮВ. Его среднегоголетняя емкость составляет 10,71 тыс. м³/год.

Размах миграций наносов весьма значителен и составляет порядка 14,43 тыс. м³/год на СЗ и 25,14 тыс. м³/год на ЮВ.

В таблице 3 приведены результаты расчета транспорта наносов в штормах повторяемостью 1 раз за 50 лет.

Емкость потока наносов по четырем расчетным створам в штормах повторяемостью 1 раз в 50 лет представлена на рисунках 4, 5.

По результатам выполненных расчетов можно сделать вывод о том, что с точки зрения размыва пляжа наиболее опасными на рассмотренном участке являются штормы от ЮЮЗ и 3 направлений.

Выводы

По результатам выполненного математического моделирования получено, что среднегоголетний вдольбереговой поток наносов на данном участке направлен с СЗ на ЮВ. В случае отсыпки на проектном участке полнопрофильной волногасящей полосы

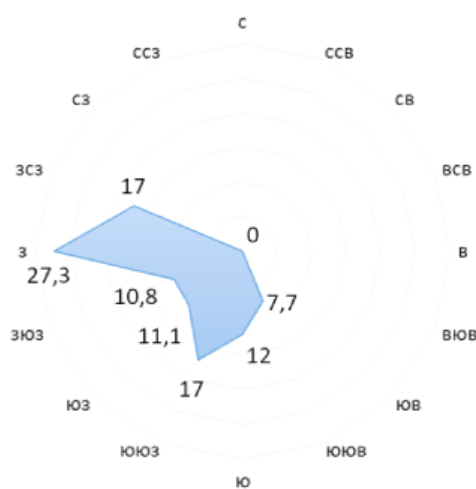


Рис. 5. Результирующая емкость потока наносов в штормах волноопасных направлений повторяемостью 1 раз в 50 лет, м³/сутки

Fig. 5. The resulting sediment flow capacity in storms of wave-prone directions, recurrence of 1 time every 50 years, m³/day

из материала со средней крупностью 70 мм его среднегоголетняя емкость составляет 10,7 тыс. м³/год. При таких значительных объемах в условиях отсутствия естественного вдольберегового потока наносов для защиты берега на данном участке необходимы либо

строительство защитной бермы из камня или фасонных массивов (что неприемлемо для рекреационных зон), либо отсыпка здесь волногасящего пляжа.

Подход равнодействующей волнового режима под углом к берегу на данном участке обуславливает вовлечение отсыпаемого пляжного материала во вдольбереговое перемещение и его смещение в юго-восточном направлении в сторону Адлера. В этих условиях сохранность

создаваемого волногасящего галечного пляжа можно обеспечить только под прикрытием пляжеудерживающих сооружений. Вариант постоянных пополнений с верховой стороны размытых пляжей при отсутствии в настоящее время вдольберегового потока наносов является экономически невыгодным.

Полученные результаты согласуются с материалами предыдущих исследований для данного участка берега.

Список использованных источников

1. Powell E.J. A Review of Coastal Management Approaches to Support the Integration of Ecological and Human Community Planning for Climate Change / E.J. Powell, M.C. Tyrrell, A. Milliken, J.M. Tirpak, M.D. Staudinger // *Journal of Coastal Conservation*. 2019. Vol. 23. Iss. 1. P. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>
2. Rangel-Buitrago N. Risk Assessment as Tool for Coastal Erosion Management / N. Rangel-Buitrago W.J. Neal, V.N. De Jonge // *Ocean and Coastal Management*. 2020. Vol. 186. P. 105088-105099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>
3. Stokes K. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines / K. Stokes, T. Poate, G. Masselink, E. King, A. Saulters, N. Ely // *Coastal Engineering*. 2021. Vol. 164. P. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>
4. Макаров К.Н. Научно-методическое обоснование Генеральной схемы берегозащиты Сочинской агломерации «Морской Фасад» / К.Н. Макаров, Г.В. Тлявлиная, Р.М. Тлявлин. Сочи: Сочинский государственный университет, 2019. 213 с.
5. Смирнов Г.Н. Океанология / Г.Н. Смирнов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1987. 406 с.
6. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // *Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22-26 October 2019)*. Marmaris, 2019. Vol. 2. p. 841-852.
7. Тлявлиная Г.В. Влияние литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на участке Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги / Г.В. Тлявлиная Г.В., Р.М. Тлявлин, Е.С. Ашпиз // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2024. Т. 14. № 3. С. 580-591. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-580-591>
8. Тлявлиная Г.В. Математическое моделирование мероприятий по инженерной защите мостовых переходов от гидродинамических воздействий морской водной среды / Г.В. Тлявлиная, К.Н. Макаров, Р.М. Тлявлин // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2024. № S4(71). С. 27-34. DOI: 10.52170/18159265_2024_71_34.
9. Saengsupavanich Ch. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters // *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 15. Iss. 57. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>
10. Dean R.G. Beach nourishment: theory and practice. World Scientific Inc. / R.G. Dean. 2002. 399 p.
11. Divinsky B.V. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions / B.V. Divinsky,

References

1. Powell E.J. A Review of Coastal Management Approaches to Support the Integration of Ecological and Human Community Planning for Climate Change / E.J. Powell, M.C. Tyrrell, A. Milliken, J.M. Tirpak, M.D. Staudinger // *Journal of Coastal Conservation*. 2019. Vol. 23. Iss. 1. P. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>
2. Rangel-Buitrago N. Risk Assessment as Tool for Coastal Erosion Management / N. Rangel-Buitrago W.J. Neal, V.N. De Jonge // *Ocean and Coastal Management*. 2020. Vol. 186. P. 105088-105099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>
3. Stokes K. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines / K. Stokes, T. Poate, G. Masselink, E. King, A. Saulters, N. Ely // *Coastal Engineering*. 2021. Vol. 164. P. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>
4. Makarov K.N. Scientific and methodological substantiation of the general scheme of coastal protection of the Sochi agglomeration "Marine facade" / K.N. Makarov, G.V. Tlyavlina, R.M. Tlyavlin. Sochi: Sochi State University, 2019. 207 p.
5. Smirnov G.N. *Oceanology* / G.N. Smirnov. 2nd ed., revised. and add. Moscow: Higher School, 1987. 406 p.
6. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // *Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22-26 October 2019)*. Marmaris, 2019. Vol. 2. P. 841-852.
7. Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Ashpiz E.S. Influence of lithodynamics of coastal area on the safety of railway operation on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):580-591. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-580-591>
8. Tlyavlina G.V., Makarov K.N., Tlyavlin R.M. Mathematical modeling of engineering protection measures for bridge crossings from hydrodynamic effects of the maritime environment. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(71):27-34. DOI: 10.52170/1815-9265_2024_71_27.
9. Saengsupavanich Ch. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters // *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 15. Iss. 57. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>
10. Dean R.G. Beach nourishment: theory and practice. World Scientific Inc. / R.G. Dean. 2002. 399 p.
11. Divinsky B.V. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions / B.V. Divinsky, R.D. Kosyan // *Oceanology*. 2019. Vol. 59, No. 4. P. 482-490. DOI: 10.1134/S0001437019040039.
12. Dohmen-Janssen C. Sheet flow and suspended sediment due to wave groups in a large wave flume

R.D. Kosyan // *Oceanology*. 2019. Vol. 59, No. 4. P. 482-490. DOI: 10.1134/S0001437019040039.

12. Dohmen-Janssen C. Sheet flow and suspended sediment due to wave groups in a large wave flume / C. Dohmen-Janssen D. Hanes // *Continental Shelf Research*. 2005. 25. P. 333-347. DOI: 10.1016/j.csr.2004.10.009.

13. Leont'yev I.O. Evaluation of depth of closure on a sandy coast / I.O. Leont'yev // *Oceanology*. 2022. T. 62. № 2. C. 258-264.

14. Kos'yan R. Nowadays Problems of Sediment Transport Modelling in the coastal zone / R. Kos'yan, J. Grune, B. Divinskiy, I. Podymov // *Proceedings of 34th Conference on Coastal Engineering*, Seoul, South Korea. 2015. No. 34. Sediment.

15. Петров В.А. Оценка величины вдольберегового потока наносов в литодинамических системах (на примере участка берега между Туапсе и Адлером) / В.А. Петров, Н.А. Ярославцев // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2020. № 4. С. 60-67. DOI: 10.31857/S0869780920040074.

16. Тлявлиная Г.В. Сравнение показателей различных типов берегозащитных сооружений / Г.В. Тлявлиная, Р.М. Тлявлин, И.Ю. Мегрелишвили // *Транспортное строительство*. 2011. № 5. С. 10-12.

Об авторах

Галина Вячеславовна Тлявлиная, канд. техн. наук, заведующий лабораторией моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве; ORCID ID: 0000-0003-4083-9014, AuthorID: 604630, SPIN-код: 5516-9241, Scopus: 57215131371; TlyavlinaGV@Tsniiis.com

Константин Николаевич Макаров, д-р техн. наук, профессор кафедры Строительства и сервиса; ORCID ID: 0000-0002-6175-3618, AuthorID: 133366, Scopus: 70006042633; ktk99@mail.ru

Роман Маратович Тлявлин, канд. техн. наук, заместитель генерального директора АО ЦНИИТС – руководитель ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега»; ORCID ID: 0000-0002-8648-0492, AuthorID: 123325, SPIN-код: 3365-3637; TlyavlinRM@Tsniiis.com

Критерии авторства / Criteria of authorship

Тлявлиная Г.В., Макаров К.Н., Тлявлин Р.М. провели теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых выполнили обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interest

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 19.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received after peer review and revision 05.09.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 05.09.2025

/ C. Dohmen-Janssen D. Hanes // *Continental Shelf Research*. 2005. 25. P. 333-347. DOI: 10.1016/j.csr.2004.10.009.

13. Leont'yev I.O. Evaluation of depth of closure on a sandy coast / I.O. Leont'yev // *Oceanology*. 2022. T. 62. № 2. C. 258-264.

14. Kos'yan R. Nowadays Problems of Sediment Transport Modelling in the coastal zone / R. Kos'yan, J. Grune, B. Divinskiy, I. Podymov // *Proceedings of 34th Conference on Coastal Engineering*, Seoul, South Korea. 2015. No. 34. Sediment.

15. Petrov V.A., Yaroslavtsev N.A. Evaluation of longshore transport of sediments in lithodynamic systems (by the example of the coast section between Tuapse and Adler). *Geokologiya journal*. 2020. № 4. P. 60-67.

16. Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Megrelishvili I.Yu. Comparison of the indices of various coast-protection structures // *Transport Construction*. 2011. № 5. P. 10-12.

About the authors

Galina V. Tlyavlina, CSs (Tech), head of the laboratory of modeling, calculations and standardization in hydraulic engineering, ORCID ID: 0000-0003-4083-9014, AuthorID: 604630, SPIN-code: 5516-9241, Scopus: 57215131371; TlyavlinaGV@Tsniiis.com

Konstantin N. Makarov, DSs (Tech), professor, head of the Department of Construction and Service, Sochi State University. ORCID ID: 0000-0002-6175-3618, AuthorID: 133366, Scopus: 70006042633; ktk99@mail.ru

Roman M. Tlyavlin, CSs (Tech), deputy general director of the Joint Stock Company «Central research institute of Transport Construction», head of R&D Centre «Seashores», ORCID ID: 0000-0002-8648-0492, AuthorID: 123325, SPIN-code: 3365-3637; TlyavlinRM@Tsniiis.com

Tlyavlina G.V., Makarov K.N., Tlyavlin R. M conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-111-117>

УДК 627.5: 504.4.054



ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАСЫПНЫХ СОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

И.В. Глазунова^{1,2}, Кабтул Хала¹, М.А. Ширяева^{1,3}

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

² ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

³ Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

Аннотация. Цель исследований заключается в изучении фильтрационных свойств насыпных сорбирующих материалов для оценки возможностей их применения в условиях жаркого климата. Выполнен анализ проблем загрязнения реки Барады остатками нефтепродуктов, промышленных территорий, свалками на берегах и последствиями нефтедобычи. Собраны и обобщены данные по использованию сорбентов в России и Сирии для снижения загрязняющей нагрузки на реки. Выявлены проблемы, возникающие при применении сорбентов для снижения загрязняющей нагрузки на территории и водные объекты. Основными проблемами являются изменение фильтрационной способности в условиях жарких температур и снижение продолжительности срока службы сорбента при использовании в сооружениях. Выполнено планирование эксперимента для исследования фильтрационных свойств насыпных сорбентов при различных температурах теплого и жаркого климата. Проведен сравнительный анализ характеристик насыпных сорбентов и выбран сорбент для исследований. Выполнена статистическая обработка результатов лабораторных экспериментов и определен рекомендуемый диапазон температур использования исследуемого сорбента.

Ключевые слова: насыпные сорбенты, фильтрационные свойства, остатки нефтепродуктов, планирование эксперимента, температура воды

Формат цитирования: Глазунова И.В., Кабтул Хала, Ширяева М.А. Исследование фильтрационных свойств насыпных сорбирующих материалов с целью их применения в условиях жаркого климата для очистки воды от нефтепродуктов // Природообустройство. 2025. № 4. С. 111-117. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-111-117>

Original article

FILTRATION PROPERTIES STUDY OF BULK SORBING MATERIALS FOR THE USE IN HOT CLIMATE FOR WATER PURIFICATION FROM OIL PRODUCTS

I.V. Glazunova¹, Kabtoul Hala¹, M.A. Shiryayeva^{1,2}

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

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

³ Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rosпотребнадзор; 141014, Mytishchi, Semashko str., 2, Russia

Abstract. The aim of this study is to investigate the filtration properties of bulk sorbent materials to assess their potential applications in hot climate conditions. An analysis was conducted on the pollution issues of the Barada River caused by petroleum residues, which originate from industrial zones, waste dumps along the riverbanks, and the consequences of oil extraction. Data on the use of sorbents in Russia and Syria for reducing river pollution have been collected and summarized. The study identifies challenges associated with the use of sorbents for mitigating pollution in both terrestrial and aquatic environments. The primary issues include changes in filtration capacity under high-temperature conditions and the reduced service life of sorbents when used in engineering structures. An experimental plan was

developed to study the filtration properties of bulk sorbents at various temperatures characteristic of warm and hot climates. A comparative analysis of the properties of different bulk sorbents was performed, leading to the selection of a sorbent for further research. Statistical processing of laboratory experiment results was conducted, and a recommended temperature range for the effective use of the investigated sorbent was determined.

Keywords: bulk sorbents, filtration petroleum, petroleum residues, experimental design, water temperature

Format of citation: Glazunova I.V., Kabtoul Hala, Ширяева М.А. Filtration properties study of bulk sorbing materials for the use in hot climate for water purification from oil products // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 111-117. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-111-117>

Введение. При проведении анализа проблем водопользования для бассейна реки Барады (Сирия) было выявлено, что одной из основных причин загрязнения реки является поступление загрязненных диффузных стоков с территорий свалок и промышленных зон на ее берегах [1]. Такая ситуация образовалась в период войны, происходившей в стране. Исправить и восстановить качество воды в реке Бараде до категории «Чистая» можно посредством очистки загрязненных диффузных стоков с территорий свалок и промышленных зон, что, по прогнозным расчетам, позволит снизить загрязняющую нагрузку на реку до 30% от существующей [1]. Проблема свалок у рек в Сирии связана с неправильным управлением отходами. До войны система обращения с ними в стране была слабой, и примерно 80% твердых бытовых отходов размещалось на открытых свалках на окраинах городов. В результате неправильного обращения с отходами загрязнялись вода, почва и воздух [2, 3]. Также в 2020-е гг. российские и сирийские ученые обнаружили загрязнение рек углеводородами, в том числе нефтью, по причине добычи нефти американскими компаниями. Отходы нефтяных месторождений, на которых работают американские компании, нередко оказываются в реках, из которых поступает питьевая вода для жителей многих населенных пунктов [3].

В мире, как известно, самыми эффективными способами снижения последствий нефтяных

загрязнений являются способы, в которых используются различные сорбирующие материалы [4]. Для очистки территорий и водных объектов используются как насыпные, волокнистые, так и комбинированные сорбирующие материалы [5]. Выполненный анализ сравнительной эффективности насыпных сорбентов позволил выбрать для лабораторных исследований сорбент, который, по данным разработчиков, в гранулированном виде в локальных очистных сооружениях имеет эффективность очистки 88% и невысокую стоимость [6].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики насыпных сорбентов для очистки воды от остатков нефтепродуктов.

Цель исследований: изучение фильтрационных свойств насыпных сорбирующих материалов для оценки возможностей их применения в условиях жаркого климата.

Материалы и методы исследований. Акцент в исследованиях сделан на применение сорбентомелиорантов для очистки диффузных стоков в жарком климате. В этих целях дальнейшие исследования посвящены изучению гидравлических фильтрационных параметров различных сорбентов и их возможным изменениям в зависимости от температуры.

Как известно, водопроницаемость сорбирующих фильтрующих материалов (СФМ) есть функция следующих их структурных характеристик: пористость, размеры пор, толщина

Таблица 1. Сравнительные характеристики насыпных сорбентов для очистки воды от остатков нефтепродуктов

Table 1. Comparative characteristics of bulk sorbents for water purification from petroleum residues

Насыпной сорбент <i>Bulk sorbent</i>	Натуральный грунт (песок) <i>Natural soil (sand)</i>	Сапропель гранулированный <i>Granulated sapropel</i>	Торф <i>Peat</i>	Уголь активированный <i>Carbon activated</i>
Эффективность очистки воды от нефтепродуктов, % <i>Efficiency of water purification from oil products, %</i>	70%	88%	64%	90-98%
Стоимость, руб/т / <i>Cost, rbl / t</i>	от 2000 <i>from 2000</i>	от 1300 <i>from 1300</i>	от 1600 <i>from 1600</i>	от 120000 <i>from 120000</i>

материала. В свою очередь, характеристики структуры для насыпных сорбентов определяются сочетанием таких факторов: размер зерен (гранул); строение зерен (гранул) (шероховатая поверхность, гладкая поверхность); форма гранул; наличие примесей (глины, пыли); плотность зерен (метод гранулирования) и др. [7, 8].

Структура порового пространства СФМ оказывает решающее влияние на такие функциональные свойства пористых тел, как адсорбционная способность, диффузионная проницаемость, фильтрующие свойства [9].

Для выяснения основных параметров пористой структуры СВФ, которые оказывают определяющее влияние на его фильтрующие свойства, выполнены экспертные оценки [10]. Список ранжируемых факторов был составлен на основании изучения источников литературы и опроса экспертов. В него включены показатели, представленные в таблице 2.

Расчеты весовых коэффициентов перечисленных выше показателей, а также вычисление коэффициента Конкордами, характеризующего степень согласованности мнений экспертов, были произведены с применением программы Statistica 14.

Результаты и их обсуждение. По результатам выполненных расчетов коэффициент

оказался равен 0,560 ($W = 0,560$) для уровня значимости 0,05, то есть можно утверждать, что существует неслучайная согласованность в мнениях 5 специалистов.

Диаграмма расчетных весовых коэффициентов приведена на рисунке 1. Эта диаграмма дает представление о степени влияния различных характеристик на пропуск расхода воды через гранулированный сорбент.

Как следует из данных рисунка 1, распределение весовых коэффициентов является неравномерным, а падение степени влияния эффектов – медленным. В этом случае в физический эксперимент рекомендуется по возможности включать все факторы. Однако для решения задачи исследований в данном случае важными являются только параметры СФМ, определяющие их пористую структуру, причем они должны быть техническими характеристиками сорбирующих фильтрационных материалов для их изготовителей. Такими параметрами для СФМ из всех перечисленных в таблице 1 являются 3 показателя:

1. Размер гранул ($d_{гр}$, мм).
2. Насыпная плотность (масса единицы объема свободно лежащего слоя сорбента включая объем пор в собственно сорбенте и в промежутках между частицами сорбента) ρ (кг/м³) (г/дм³).
3. Прочность гранул сорбента σ 0,8 МПа.

Таблица 2. Список факторов, влияющих на их фильтрационные свойства гранулированных сорбентов

Table 2. List of factors affecting their filtration properties of granulated sorbents

№ показателей No. of indicators	Наименование показателя Name of the indicator
1	Размер гранул / Granule size
2	Удельная поверхность гранул сорбента / Specific surface area of sorbent granules
3	Форма гранул / Granule shape
4	Шероховатость поверхности гранул / Surface roughness of granules
5	Однородность гранул / Homogeneity of granules
6	Наличие примесей / Presence of impurities
7	Плотность гранул / Granule density
8	Пористость сорбента / Porosity of the sorbent
9	Водопоглощающая способность гранул / Water absorption capacity of granules
10	Насыпная плотность / Bulk density
11	Размеры пор / Pore sizes
12	Извилистость пор / Tortuosity of pores
13	Изотропность материала гранул / Isotropy of granule material
14	Поверхностная плотность материала гранул / Surface density of granule material
15	Коэффициент объемного сжатия гранул / Coefficient of volumetric compression of granules
16	Прочность гранул / Granule strength
17	Пористость гранул / Porosity of granules
18	Смачиваемость гранул / Wettability of granules
19	Размеры пор гранул / Granule pore sizes

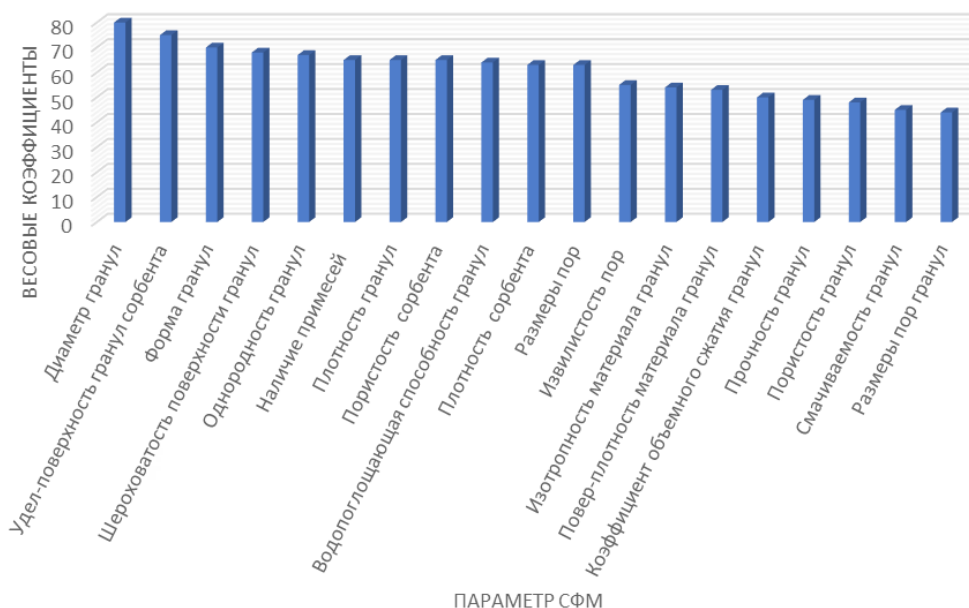


Рис. 1. Весовые коэффициенты

Fig. 1. Weight factors

Указанные факторы определяют такие свойства СФМ, как водопроницаемость в разных направлениях, пористость, распределение пор по радиусам, удельную поверхность, изменение поровой структуры под нагрузкой.

Часть показателей из списка определяется свойствами исходного сырья для изготовления СФМ и может альтернативно изменяться путем подбора специальной предварительной обработки гранул. Часть показателей определяется технологией изготовления гранул сорбента и может назначаться однозначно при выборе характера технологического процесса.

Для определения оптимального сочетания выбранных факторов использован метод планирования активного эксперимента. Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Целью эксперимента является выбор такого сочетания параметров насыпных СФМ, при котором система сорбентов будет пропускать наибольший расход при прочих равных условиях и будет устойчивой к температурам жаркого климата.

Для проведения эксперимента в данной серии опытов были взяты гранулированный сапропель марки НРК 6-2-1 – гранулированное GardenGro, который исследовался на фильтрацию чистой воды при разных температурах. Испытания проводились в фильтрационных приборах типа Дарси и Тима-Каменского по типовой методике для разных температур воды

в диапазоне от 20 до 40 °С с шагом 5 °С при слое сорбента в приборе 25 см.

Гранулированный сорбент укладывался на сеточку в приборе. Схема проведения эксперимента приведена на рисунке 2.

Для определения дисперсии опыта при дальнейшей оценке адекватности модели поставлены дополнительные опыты в центре плана (повторности основного уровня), а также для лучших и базовых вариантов опыта.

Опыты проводились при градиенте действующего напора $y = 3$ как допустимого с точки зрения предотвращения фильтрационных



Рис. 2. Схема загрузки и подключения фильтрационных приборов

Fig. 2. Scheme of loading and connection of filtration devices

деформаций сорбента. Длительность эксперимента определялась временем стабилизации насыпного сорбента и составляла 60 суток.

В процессе опыта проводились ежедневные замеры расхода воды из фильтрационных приборов, показаний пьезометров, температуры фильтрата, изменения высоты насыпного сорбента. Обработка результатов активного эксперимента с насыпными сорбентами производилась с применением программы Statistics 14.

При температуре 15°C коэффициент фильтрации был максимальным (34,16 м/сут.). С увеличением температуры до 20°C коэффициент фильтрации снижался до 28,25 м/сут. При дальнейшем увеличении температуры до 25°C коэффициент фильтрации продолжал снижаться до 25,02 м/сут. При 30°C наблюдается небольшое увеличение – до 27,26 м/сут. Однако при температуре 40°C коэффициент фильтрации снова снижался до 17,96 м/сут.

Коэффициент фильтрации сорбента в зависимости от температуры воды показывает тенденцию снижения с повышением температуры, за исключением небольшого повышения при 30°C. Это может указывать на оптимальную температуру для фильтрации, которая находится в диапазоне 25-30°C.

Достоверность аппроксимации подтверждена: линия тренда аппроксимирует процесс (рис. 3).

Для достоверности анализа в ANOVA выявлены следующие значения и допущения:

Нормальность. Зависимая переменная должна быть нормально распределена в каждой группе. Это можно проверить с помощью гистограмм, графиков нормальной вероятности или статистических тестов – таких, как тест Шапиро-Уилка.

Однородность дисперсии. Дисперсия зависимой переменной должна быть примерно одинаковой для всех групп. Это можно проверить с помощью таких статистических тестов, как тест Левена или тест Бартлетта.

Независимость. Наблюдения в каждой группе должны быть независимы друг от друга. Это означает, что значения в одной группе не должны быть связаны или зависеть от значений в любой другой группе.

Случайная выборка. Группы должны формироваться на основе случайной выборки, что гарантирует возможность обобщения результатов на всю популяцию.

Также для достоверности анализа был выбран уровень значимости, равный 0,05 (5%). Это означает, что различия между группами, имеющие вероятность меньше 5%, считаются статистически значимыми.

Для оценки сорбционной эффективности рассмотренного сорбента брались пробы воды и выполнялась качественная оценка снижения концентрации остатков нефтепродуктов. Сорбент показал достаточную эффективность по снижению концентрации нефтепродуктов в воде, которая составляла не менее 80%.

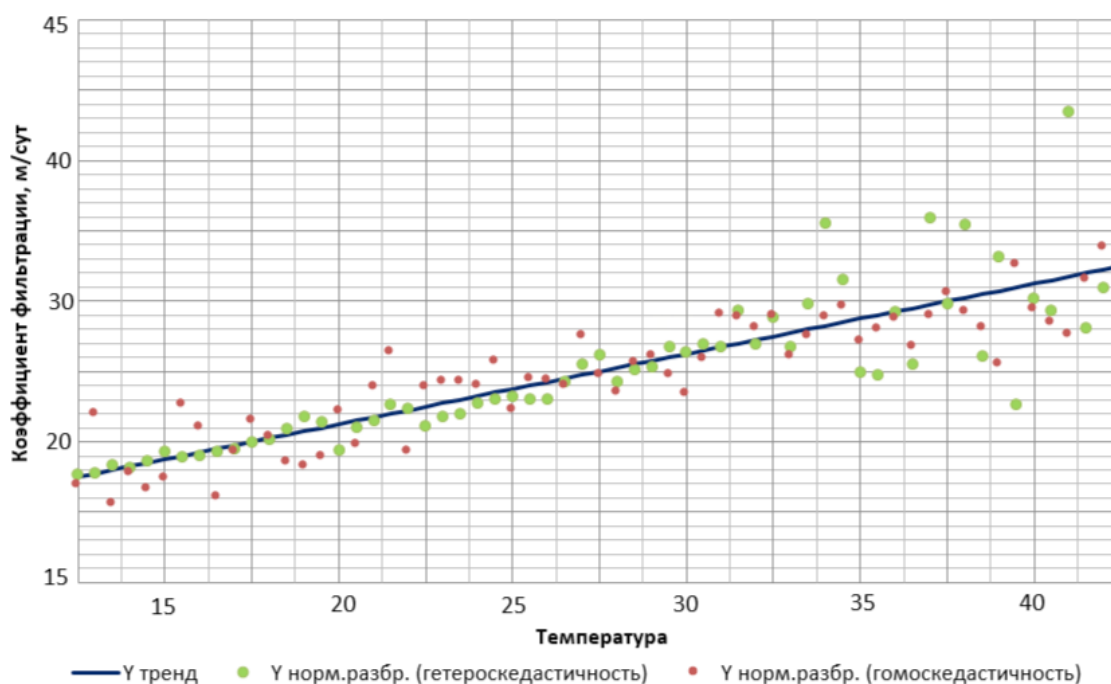


Рис. 3. Линейный тренд зависимости коэффициента фильтрации от температуры

Fig. 3. Linear trend of the temperature dependence of the filtration coefficient

Выводы

На основе экспертных оценок были выбраны параметры насыпных сорбентов, которые оказывают наибольшее влияние на их фильтрационные свойства и являются гарантированными производителями при выпуске сорбентов. Такими параметрами для сыпучих фильтрующих материалов являются 3 показателя: размер гранул ($d_{гр}$, мм); насыпная плотность (масса единицы объема свободно лежащего слоя сорбента включая объем пор в собственно сорбенте и в промежутках между частицами сорбента) ρ (кг/м³) (г/дм³); прочность гранул сорбента σ 0,8 Мпа.

На основе лабораторных испытаний были определены следующие фильтрационные характеристики гранулированного сорбента в зависимости от температуры воды: насыпной гранулированный сорбент на основе сапропеля в зависимости от температуры воды показывает

тенденцию снижения с повышением температуры, за исключением небольшого повышения при температуре 30°C. Это может указывать на оптимальную температуру для фильтрации, которая находится в диапазоне 25-30°C.

Максимальная величина расхода, соответствующая этим параметрам, равна 0,26 л/сут. для коэффициента фильтрации гранулированного сорбента 34,16 м/сут.

Указанные характеристики сыпучих фильтрующих материалов, предназначенных для сорбции загрязняющих веществ, формируют такую пористую его структуру, которая наилучшим образом фильтрует загрязненную жидкость в обозначенном диапазоне температур. Чтобы обосновать вышеприведенный вывод, детально изучаются структурные характеристики сорбентов и их фильтрационные свойства в различных температурно-временных диапазонах.

Список использованных источников

1. Глазунова И.В. Использование водных ресурсов в бассейне реки Барада / И.В. Глазунова, К. Хала, С.Н. Редников, С.А. Соколова // Природообустройство. 2024. № 1. С. 91-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-91-98. EDN: MQJTJY
2. Хаббал М. Экологические проблемы городов Сирии // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов. сборник трудов конференции. Белгород: 2015. С. 120-124. EDN: VQVEDT
3. Syria conflict and its impact: a legal and environmental perspective / M. Qandeel, J. Sommer // Journal of International Humanitarian Legal Studies. 2022. Vol. 13, No. 2. Pp. 275-296.
4. Комплексный сорбент для очистки стоков от нефтепродуктов и тяжелых металлов / И.В. Глазунова, Н.П. Мартыненко // Агрохимический вестник. 2001. № 4. С. 38-39. EDN: GRPDJH
5. Кирейчева Л.В. Улучшение качества дренажных вод с помощью природных сорбентов / Л.В. Кирейчева, А.А. Купцова // Мелиорация и водное хозяйство. 1998. № 1. С. 6-8. EDN: OWWAKI
6. Саид М.А. Перспективы применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии / Наука и инновации: Технические науки. Современные концепции: материалы конференции. Сборник научных статей, 20 декабря 2019 года. Уфа: Инфинити, 2019. С. 109-114. EDN: ODGLNA
7. Патент на изобретение RU2174439 C1, Сорбционно-фильтровальная загрузка для очистки воды и способ ее производства / Косов В.И., Баженова Э.В., Тверской государственный технический университет. 10.10.2001. Заявка № 2000116957/12 от 26.06.2000.
8. Лим Л.А. Нефтеемкость сорбента: проблема выбора методики определения / Л.А. Лим В.А. Реутов, А.А. Руденко, А.С. Чудовский // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 144-150.
9. Фетисова О.Ю. Синтез и свойства пористых углеродных материалов из природных графитов и антрацитов

References

1. Glazunova I.V. Use of water resources in the Barada River basin / I.V. Glazunova, K. Hala, S.N. Rednikov, S.A. Sokolova // Prirodoobustroystvo. – 2024. No. 1. P. 91-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-91-98. EDN: MQJTJY
2. Khabbal M. Environmental problems of Syrian cities / Ecology and rational environmental management of agro-industrial regions. Collection of conference proceedings. Belgorod: 2015. P. 120-124. EDN: VQVEDT
3. Syria conflict and its impact: a legal and environmental perspective / M. Qandeel, J. Sommer // Journal of International Humanitarian Legal Studies. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 275-296.
4. Complex sorbent for wastewater treatment from petroleum products and heavy metals / I.V. Glazunova, N.P. Martynenko // Agrochemical Bulletin, 2001, No. 4, P. 38-39. EDN: GRPDJH
5. Kireicheva L.V. Improvement of drainage water quality using natural sorbents / L.V. Kireicheva, A.A. Kuptsova // Land reclamation and water management. – 1998. No. 1. P. 6-8. EDN: OWWAKI
6. Sajid M.A. Prospects for the use of submersible rotating biofilters for the treatment of wastewater from small settlements in Syria / Said M.A. / Science and Innovation: Technical Sciences. Modern Concepts: Conference Proceedings. Moscow, December 20, 2019. P. 109-114.
7. Patent for invention RU2174439 C1, Sorption-filtration loading for water purification and its production method / Kosov V.I., Bazhenova E.V., Tver State Technical University. 10.10.2001. Application, No. 2000116957/12 dated 26.06.2000.
8. L.A. Lim Oil-retentivity of a sorbent: the problem of choosing a method for determination / L.A. Lim, V.A. Reutov, A.A. Rudenko, and A.S. Chudovsky // Advances in Modern Natural Sciences. LLC Publishing House Academy of Natural Sciences Moscow. 2018. No. 10. P. 144-150.
9. Fetisova O.Yu. Synthesis and Properties of Porous Carbon Materials from Natural Graphites and Anthracites / O.Yu. Fetisova: Dissertation of the Candidate of Chemical Sciences on the topic "Synthesis and Properties of Porous

/ О.Ю. Фетисова: Диссертация кандидата химических наук на тему «Синтез и свойства пористых углеродных материалов из природных графитов и антрацитов». Красноярск: 2012. 105 с.

10. Гаврилова Н.Н. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных / Н.Н. Гаврилова, В.В. Назаров. / Всерос. конф. Тезисы докладов: Химия твердого тела и функциональные материалы. / Институт химии твердого тела. Екатеринбург: 2015. Т. 2. С. 11-17.

Об авторах

Ирина Викторовна Глазунова, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; ORCH ID 0000-0003-4931 2008, SCOPUS: 57500684900; ivglazunova@mail.ru

Кабтул Хала, аспирант кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; halak93@gmail.com

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

About the authors

Irina V. Glazunova, CSs (Tech), Associate Professor of the Department of Hydraulics, Hydrology and Water Resources Management; ORCH ID 0000-0003-4931 2008, SCOPUS: 57500684900; ivglazunova@mail.ru

Kabtul Khala, Postgraduate student of the Department of Hydraulics, Hydrology and Water Resources Management; halak93@gmail.com

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

Критерии авторства / Criteria of authorship

Глазунова И.В., Кабтул Хала, 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 / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.04.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 27.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 27.08.2025

Glazunova I.V., Kabtoul Hala, Shiryayeva M.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-118-124>

УДК 532.5: 628.12



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ И ОТСУТСТВИЯ МЕМБРАНЫ НА РАБОТУ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БАКОВ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДАЧИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Д.Ю. Короткоручко[✉], М.С. Али

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, Россия

Аннотация. Цель исследований – сравнительный анализ энергоэффективности и экономической целесообразности эксплуатации мембранных и безмембранных пневматических баков. В работе приведены расчеты и графики сравнения обоих вариантов исполнения бака, а также расчеты энергетической эффективности при применении мембраны и без нее. Современные системы автономного и централизованного водоснабжения предъявляют все более жесткие требования к надежности и энергоэффективности. Одним из наиболее распространенных способов сглаживания гидравлических колебаний, сокращения числа пусков насосного оборудования и обеспечения аварийного резерва воды является использование гидравлических аккумуляторов (пневматических баков). Такие баки позволяют аккумулировать энергию сжатого воздуха и использовать ее для поддержания давления в системе при изменяющихся нагрузках. Сравнены суммарные энергетические потери при наличии мембраны (в частности, на ее замену) и при ее отсутствии, когда воздух контактирует с водой напрямую и растворяется в ней, что приводит к необходимости подкачки воздуха для поддержания давления и дополнительным тратам энергии на работу компрессора. В работе приведены расчеты и графики сравнения обоих вариантов исполнения бака, а также расчеты энергетической эффективности при применении мембраны и без нее.

Ключевые слова: гидравлический бак, насос, давление, прогнозирование, частотный преобразователь, мощность, энергия

Формат цитирования: Короткоручко Д.Ю., Али М.С. Исследование влияния наличия и отсутствия мембраны на работу пневматических баков в системах водоподачи с точки зрения энергоэффективности // Природообустройство. 2025. № 4. С. 118-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-118-124>

Scientific article

STUDY OF THE EFFECT OF THE PRESENCE AND ABSENCE OF A MEMBRANE ON THE OPERATION OF PNEUMATIC TANKS IN WATER SUPPLY SYSTEMS IN TERMS OF ENERGY EFFICIENCY

D.Yu. Korotkoruchko[✉], M.S. Ali

Russian State Agrarian University- Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya, 44, Russia

Abstract. The purpose of the research is to conduct a comparative analysis of the energy efficiency and economic feasibility of using membrane and non-membrane pneumatic tanks. The paper presents calculations and graphs comparing both tank designs, as well as calculations of energy efficiency with and without a membrane. Modern autonomous and centralized water supply systems have increasingly stringent requirements for reliability and energy efficiency. One of the most common ways to smooth out hydraulic fluctuations, reduce the number of pump starts, and provide an emergency water reserve is by using hydraulic accumulators (pneumatic tanks). These tanks allow for the accumulation of compressed air energy and its use to maintain system pressure during changing loads. The total energy losses are compared when a membrane is present, including its replacement, and when it is absent, allowing air to directly contact and dissolve in water, resulting in the need for air to be pumped to maintain pressure and additional energy consumption for the compressor. The purpose of the research is to conduct a comparative analysis of the energy efficiency and economic feasibility of using diaphragm and non-diaphragm pneumatic tanks. The paper presents calculations and graphs comparing both tank designs, as well as calculations of energy efficiency with and without a diaphragm.

Keywords: hydraulic tank, pump, pressure, forecasting, frequency converter, power, energy

Format of citation: Korotkoruchko D.Yu., Ali M.S. Study of the effect of the presence and absence of a membrane on the operation of pneumatic tanks in water supply systems in terms of energy efficiency // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 118-124. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-118-124>

Введение. Внедрение гидравлических аккумуляторов в системы водоснабжения является важным шагом к повышению их надежности, энергоэффективности и готовности к аварийным ситуациям. Эти устройства не только способствуют оптимизации работы насосного оборудования, но и обеспечивают стабильное функционирование системы водоснабжения в условиях изменяющихся эксплуатационных нагрузок.

В практике систем водоподачи применяют два принципиально различных варианта конструктивного исполнения пневматических баков: с эластичной мембраной внутри корпуса (рис. 1а) и безмембранные (рис. 1б).

Мембранные баки гарантируют надежное разделение воды и воздуха, что обеспечивает стабильность характеристик давления и минимизирует необходимость вмешательства в работу компрессорного оборудования. При этом эластичный элемент подвержен усталостным и динамическим нагрузкам, особенно в режимах высокой цикличности, что приводит к постепенному износу и необходимости замены мембраны.

Безмембранные баки, напротив, лишены расходных материалов, однако в них отсутствует

барьер, препятствующий диффузии (растворению) воздуха в воде. В результате объем воздушной подушки постепенно снижается, и для поддержания рабочего давления требуется регулярная подкачка компрессором. Это добавляет к системе дополнительный энергетический расход и усложняет автоматизацию управления, но одновременно позволяет избежать затрат на замену мембранного блока.

Ряд проведенных исследований посвящен математическому моделированию работы пневматических баков в системах водоподачи, в том числе с насосами с частотно-регулируемым приводом, и расчетам их энергетической эффективности [1-4]. Однако в доступной литературе отсутствует комплексная оценка суммарных эксплуатационных затрат с учетом как энергопотребления компрессора, так и расходов на замену мембранных элементов для двух типов баков в условиях бытовых систем водоподачи.

Цель исследований: сравнительный анализ энергоэффективности и экономической целесообразности эксплуатации мембранных и безмембранных пневматических баков.

Задачи исследований включают в себя:

- определение затрат на приобретение и замену мембраны при выборе варианта с мембранным баком;
- оценку энергозатрат на подкачку воздуха в варианте с безмембранным баком;
- построение графиков зависимости двух вариантов по различным параметрам;
- формулировку рекомендаций по выбору оптимального типа пневматического бака в зависимости от частоты пусков насосного оборудования, воздушного компрессора и требований к надежности системы.

Материалы и методы исследований.

При проведении испытаний с целью получения расчетных данных использовалась экспериментальная установка для работы насосных станций, расположенная в лаборатории насосов и насосных станций кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения, насосов и насосных станций Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 2).

В первую очередь были получены данные об энергоэффективности при применении мембранного бака. Производитель применяемого в экспериментах пневмобака в технической

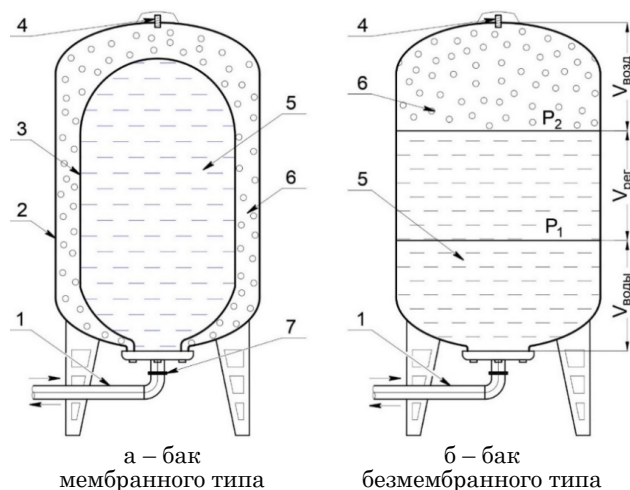


Рис. 1. Схема устройства пневматического бака:

- 1 – подающе-отводящая труба; 2 – корпус;
3 – мембрана; 4 – ниппель для подкачки и стравливания воздуха; 5 – вода; 6 – воздух;
7 – муфтовое разъемное подключение к трубопроводу

Fig. 1. Diagram of the device of pneumatic tank:

- 1 – feed and discharge pipe; 2 – body;
3 – membrane; 4 – nipple for pumping and bleeding air;
5 – water; 6 – air; 7 – coupling detachable connection to the pipeline

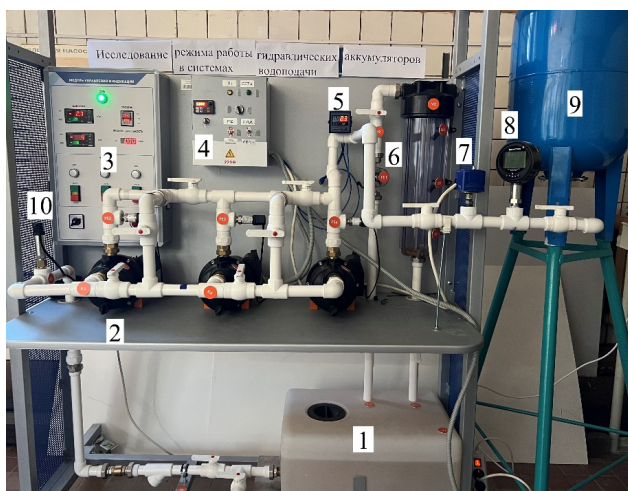


Рис. 2. Экспериментальная установка:

- 1 – бак с водой; 2 – насос; 3 – датчик давления на всасывающем трубопроводе;
4 – модуль управления и индикации;
5 – преобразователь частоты вращения;
6 – пневматический бак; 7 – компрессор воздуха;
8 – реле давления; 9 – цифровой манометр;
10 – датчик расхода; 11 – ваттметр

Fig. 2. Experimental installation:

- 1 – water tank; 2 – pump; 3 – suction pipe pressure sensor;
4 – control and indication module; 5 – speed converter;
6 – pneumatic tank; 7 – air compressor; 8 – pressure relay;
9 – digital pressure gage; 10 – flow sensor; 11 – wattmeter

документации указывает, что срок его службы является в целом неограниченным, так как мембрана может быть заменена. При этом считается, что средний срок службы одной мембраны составляет 5-10 лет в зависимости от условий эксплуатации. При изменении этих условий срок может измениться, причем в меньшую сторону, ввиду ряда следующих внешних и внутренних факторов:

- частые и/или резкие перепады температурных режимов;
- значительные скачки давления воды и воздуха;
- отсутствие либо низкое давление воздуха в воздушной камере гидроаккумулятора;
- несоблюдение правил и норм пользования аккумулирующим оборудованием;
- некорректная работа насосных станций.

При проведении экспериментов ранее [1-4] мембрана была заменена дважды за 3 месяца, с августа по октябрь 2024 г. Стоимость каждой мембраны составила 800 руб. При этом после последней замены в октябре 2024 г. прошло уже 6 месяцев. Причиной этого мог послужить один из двух случаев:

- 1) брак первых двух мембран, который привел к слишком быстрому износу;
- 2) возможная неправильная установка мембран (недостаточная фиксация на фланце бака).

Следующий этап – определение энергопотребления всей системы водоподачи с насосом и пневмобаком. Есть два варианта: с применением преобразователя частоты вращения и без его применения.

При применении насоса с ЧРП (частотно-регулируемый привод) энергопотребление насоса будет зависеть от потребления воды, а значит, от расхода насоса. При этом есть два этапа работы системы: наполнение бака, когда насос работает и потребляет электроэнергию, и опорожнение бака, когда насос отключен и вода подается за счет избыточного давления сжатого воздуха в баке.

Рассматриваются два ключевых параметра:

– Снижение потребляемой мощности насоса при частотном регулировании. При снижении частоты на 20-40% мощность насоса снижается примерно на 50-70% (из 450 Вт до 150 Вт) согласно закону подобия [5-7]:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3, \quad (1)$$

где N_1 , N_2 – потребляемая мощность до и после изменения частоты вращения соответственно; n_1 , n_2 – частота вращения до и после изменения.

– Чередование работы насоса и опорожнения бака, так как насос не работает за счет увеличенного времени опорожнения.

Заметим, что нельзя просто усреднять эти два процента, поскольку энергопотребление во время работы насоса и в паузах принципиально различается.

Для расчета средней мощности можно использовать следующую формулу:

$$P_{\text{сред}} = \frac{P_{\text{насоса}} \cdot t_{\text{наполн}}}{t_{\text{наполн}} + t_{\text{опорож}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{сред}}$ – средняя мощность насоса во время одного цикла работы, Вт.

На основании расчетов средней мощности можно определить, сколько электроэнергии и денежных средств экономится при совместном использовании пневматического бака и насоса с ЧРП, а также сравнить с другими методами регулирования.

Для начала определяется длительность цикла работы насоса по формуле:

$$t_{\text{цикл}} = t_{\text{наполн}} + t_{\text{опорож}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{наполн}}$ – длительность наполнения бака, ч; $t_{\text{опорож}}$ – длительность опорожнения бака, ч.

Затем рассчитывается количество циклов насоса $z_{\text{циклов}}$ за 1 ч:

$$z_{\text{циклов}} = \frac{1}{t_{\text{цикл}}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{цикл}}$ – длительность цикла работы бака и насоса, ч.

Поскольку насос включается и выключается по одному разу за цикл, максимальное количество включений насоса равняется количеству циклов, то есть

$$z_{\max} = z_{\text{циклов}}. \quad (5)$$

Зависимость количества включений насоса от продолжительности цикла его работы приведена на рисунке 3.

На основании этого определяется суммарное время наполнения, а значит, и работы насоса в течение 1 ч:

$$t_{\text{сумм. раб. нас.}} = z_{\max} \cdot t_{\text{наполн.}} \quad (6)$$

В некоторых случаях количество включений насоса $z_{\max}$ превышает рекомендуемое производителями пневматических баков количество в 20-30 включений за 1 ч как неэффективное. Поэтому для расчета экономического эффекта берутся параметры, для которых выполняется условие:

$$z_{\max} \leq 30. \quad (7)$$

При использовании преобразователя частоты вращения число пусков в 1 ч перестает играть важную роль, так как это позволяет насосу запускаться плавно, без скачков в потребляемой мощности, что значительно увеличивает ресурс работы насоса.

Для расчета потребляемой электроэнергии используется следующая формула:

$$E_{\text{потр}} = \frac{P_{\text{сред}}}{1000} \cdot t_{\text{сумм. раб. нас.}}, \quad (8)$$

где $E_{\text{потр}}$ – потребляемая электроэнергия, кВт·ч; $P_{\text{сред}}$ – средняя мощность насоса, Вт; $t_{\text{сумм. раб. нас.}}$ – суммарное время работы насоса в течение 1 ч, ч.

Зависимость количества потребляемой электроэнергии от времени работы насоса в течение 1 ч приведена на рисунке 4.

По всем параметрам системы водоподачи с пневматическим баком и насосом с ЧРП

наблюдается многократное снижение экономических затрат по сравнению со средней стоимостью 1 кВт·ч.

При отказе от использования преобразователя частоты вращения мощность насоса всегда будет составлять паспортные 450 Вт, то есть формула (2) приобретает следующий вид:

$$P_{\text{сред}} = \frac{450 \cdot t_{\text{наполн.}}}{t_{\text{наполн.}} + t_{\text{опорож}}}. \quad (9)$$

После этого определялись затраты электроэнергии при использовании безмембранного бака.

При использовании безмембранного бака выполняется закон Генри [8-11]:

$$S = k \cdot p, \quad (10)$$

где S – молярная концентрация газа в растворе, моль/л, г/л; k – константа Генри (константа растворимости), моль/(Па·л); p – парциальное давление газа над раствором, Па.

Коэффициент k зависит от природы газа и растворителя, а также от температуры.

Несмотря на то, что закон Генри пригоден лишь для идеальных и предельно разбавленных реальных растворов и невысоких давлений, он будет выполняться в работе пневматического бака в данной работе, так как применяемое давление не превышает 3 бар (300 кПа).

Дальше нужно рассчитать количество растворившегося со временем воздуха. Для этого можно использовать эмпирическое приближение на основе уравнения Фика:

$$m(t) = k \cdot F \cdot (C_{\text{eq}} - C(t)) \cdot 1000 \cdot t, \quad (11)$$

где $m(t)$ – количество вещества растворенного воздуха за время, моль; k – коэффициент массопереноса, м/с, зависящий от условий (0,0001-0,001 м/с); F – площадь поверхности контакта вода-воздух, м²; C_{eq} – равновесная концентрация воздуха в воде (по закону Генри), моль/л; $C(t)$ – текущая концентрация (в начале наполнения ≈ 0), моль/л; t – время контакта, с.

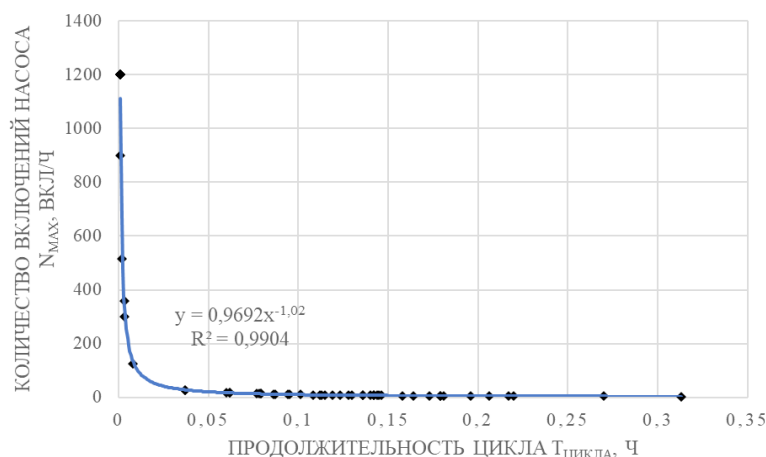


Рис. 3. Зависимость количества включений насоса от продолжительности цикла его работы

Fig. 3. Dependence of the number of pump starts on the duration of its operating cycle

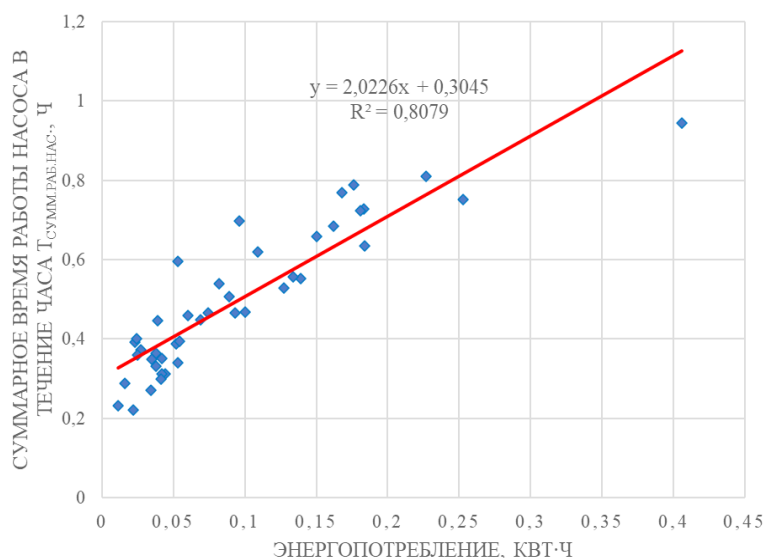


Рис. 4. Зависимость количества потребляемой электроэнергии от времени работы насоса

Fig. 4. Dependence of the amount of consumed electricity on the pump operating time

Когда определили массу растворенного воздуха, ее можно пересчитать в объем воздуха при нормальных условиях:

$$V_{\text{возд. потери}} = \frac{m}{M} \cdot \frac{R \cdot T}{P}, \quad (12)$$

где M – молярная масса воздуха (29 г/моль); R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль · К)); T – температура при нормальных условиях (293 К (20°C)); P – атмосферное давление (101325 Па).

Компрессор включается, когда давление в баке падает ниже установленного предела, то есть когда

$$\Delta V_{\text{возд. потери}} \geq V_{\text{допуст. потери}} \quad (13)$$

Зная объем воздушной подушки и границы допустимого давления, можно вычислить, какой объем воздуха соответствует такому падению давления по уравнению Бойля-Мариотта:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2. \quad (14)$$

Границы допустимого давления задаются также реле давления. Объем воздушной подушки в начале и в конце наполнения бака составляет 2/3 и 1/3 от объема бака соответственно. На основании проведенных испытаний безмембранного бака такие параметры считаются наиболее оптимальными. Поскольку объем бака в экспериментах составляет 60 л, в начале наполнения объем воздуха $V_{\text{возд.нач.}}$ составляет 40 л, а в конце $V_{\text{возд.кон.}} = 20$ л.

Определив все эти значения, можно рассчитать объем воздуха, растворившегося в воде, по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{P}. \quad (15)$$

Чем медленнее опорожняется бак (дольше длится цикл), тем больше воздуха растворяется и тем чаще придется включать компрессор. Поэтому для расчета используется самое продолжительное время опорожнения, полученное в ходе экспериментов, равное 865 с при давлении воздуха в начале наполнения 50 кПа, в конце наполнения – 130 кПа, при диаметре бака 0,59 м и температуре в нормальных условиях 20°C. Для этих значений $V = 0,065$ л.

Если допустить, что компрессор включается, когда объем воздуха уменьшается на 10%, то

$$V_{\text{допуст. потери}} = 0,1 \cdot V_{\text{возд. нач.}} = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ л.} \quad (16)$$

Тогда число циклов, за которое это произойдет, будет составлять:

$$z = \frac{V_{\text{допуст. потери}}}{V} = \frac{4}{0,065} \approx 62 \text{ цикла.} \quad (17)$$

Если каждый цикл опорожнения длится 865 с, то растворение на 10% произойдет за 14,6 ч. С учетом времени наполнения бака 262 с, которое не бралось в расчет ввиду пренебрежительно малого влияния и уменьшения площади контакта, растворение будет происходить за 19,4 ч. Чтобы компенсировать это, компрессор должен накачать 4 л воздуха до давления 130 кПа.

Для определения затраченной работы используется формула политропного процесса:

$$W = \frac{P_1 \cdot V_1}{y - 1} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{y-1}{y}} - 1 \right], \quad (18)$$

где y – показатель политропы (для воздуха 1,4 – адиабатический процесс); P_1 – начальное значение давления воздуха, Па; V_1 – начальное значение объема воздуха, м³; P_2 – конечное значение давления воздуха, Па.

При применяемых параметрах $W = 154$ Дж.

Мощность используемого в экспериментах компрессора составляет $P_k = 70$ Вт, или 70 Дж/с. Значит, время работы на подкачку воздуха составит:

$$t_k = \frac{W}{P} = 5,2 \text{ с.} \quad (19)$$

Тогда энергозатраты составят по той же формуле (8) 0,000101 кВт·ч.

За сутки компрессор включится примерно 1,24 раза. Тогда за сутки энергозатраты составят 0,000125 кВт·ч.

Результаты и их обсуждение. На основании проведенных экспериментов и представленных формул получены значения энергопотребления применения различных систем.

Для лучшего сравнения энергопотребление при использовании мембранных и безмембранных баков совместно с насосами с ЧРП и без него приведено на рисунке 5.

В результате произведенных расчетов и моделирования было установлено, что скорость растворения воздуха в воде внутри безмембранного пневматического бака существенно зависит от продолжительности контакта фаз, перепада давления и геометрии поверхности раздела. При неизменной площади

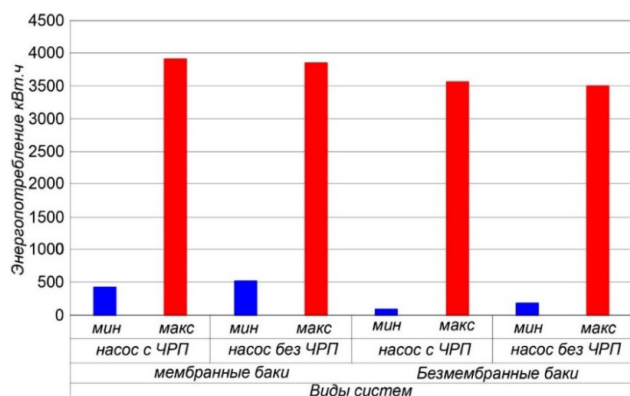


Рис. 5. Сравнение годового энергопотребления различных систем

Fig. 5. Comparison of annual energy consumption of different systems

Список использованных источников

1. Короткоручко Д.Ю., Исследование режима работы гидравлических аккумуляторов в системах водоподдачи / Д.Ю. Короткоручко, М.С. Али, Д.С. Бегляров [и др.] // Естественные и технические науки. 2024. № 5(192). С. 195-204. DOI: 10.25633/ETN.2024.05.17. EDN: JXPCZM
2. Короткоручко Д.Ю. Изучение работы гидравлических аккумуляторов в системах водоснабжения с целью повышения ее энергоэффективности / Д.Ю. Короткоручко // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича: Сборник статей, Москва,

контакта воздух-вода ($\approx 0,273 \text{ м}^2$) основным фактором, влияющим на растворение, является время опорожнения бака: чем дольше вода соприкасается с воздушной подушкой, тем больше воздуха переходит в раствор. Так, при длительном времени опорожнения (865 с) и начальном давлении воздуха 50 кПа в воде растворяется до 0,065 л воздуха за цикл. Это означает, что для восстановления исходного объема воздушной подушки на 10%, то есть 4 л, потребуется около 62 таких циклов, что соответствует примерно 19,4 ч непрерывной работы. При этом компрессор работает всего в течение 5-6 с и тратит около 0,00004 кВт·ч энергии, что делает эксплуатацию крайне энергоэффективной.

При уменьшении времени опорожнения до 24 с и росте начального давления воздуха до 150 кПа потери воздуха за цикл снижаются до 0,0032 л. В этом режиме компрессор включается примерно один раз в 7,3 сутки, что делает частоту его работы практически незначимой.

Для другого режима с увеличенным временем опорожнения (577 с) и давлениями 100-233 кПа потери воздуха за цикл составляют 0,0805 л, и компрессор включается каждые 10,2 ч. Даже в этом случае суточное энергопотребление не превышает 0,000033 кВт·ч, что является достаточно выгодным с экономической точки зрения [12].

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования и расчеты показывают, что при правильно подобранных параметрах система без мембраны не только обеспечивает стабильную работу водоподдачи, но и обладает крайне низким уровнем энергопотребления компрессора. Периодичность его включения зависит преимущественно от времени опорожнения бака, а затраты на подкачку воздуха оказываются пренебрежимо малыми в сравнении с другими элементами системы включая замену мембраны в традиционных пневматических баках.

References

1. Korotkoruchko D.Yu., Investigation of the mode of operation of hydraulic accumulators in water supply systems / D.Yu. Korotkoruchko M.S. Ali, D.S. Beglyarov [et al.] // Natural and technical Sciences. 2024. No. 5(192). P. 195-204. DOI: 10.25633/ETN.2024.05.17. EDN: JXPCZM
2. Korotkoruchko D.Y. Studying the operation of hydraulic accumulators in water supply systems in order to increase its energy efficiency / D.Y. Korotkoruchko // Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 150th anniversary of the birth of A.Y. Milovich: Collection of articles, Moscow, June 03-05,

03-05 июня 2024 года. Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. С. 71-76. EDN: PKEDBJ

3. Короткоручко Д.Ю. Определение мощностных и энергетических характеристик насосов с регулируемой частотой вращения в системах водоподдачи с гидравлическими мембранными баками / Д.Ю. Короткоручко, М.С. Али // Природообустройство. 2025. № 1. С. 104-110. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-1-104-110. EDN: AHDYS

4. Короткоручко Д.Ю. Экспериментальное исследование влияния гидравлических мембранных баков на работу центробежных насосов с регулируемой частотой вращения в локальных системах водоснабжения / Д.Ю. Короткоручко // Гидротехника. 2025. № 1(78). С. 46-55. EDN: GQKMTB

5. Мембранные расширительные емкости для систем водоснабжения, отопления и кондиционирования Zilmet®. Технический паспорт, руководство по монтажу и эксплуатации.

6. Лезнов Б.С. Энергосберегающие автоматизированные системы в водоснабжении и водоотведении // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 2.

7. Али М.С. Насосы и насосные станции: Учебник. / М.С. Али, Д.С. Бегляров, В.Ф. Чебаевский. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 104 с.

8. Зезин В.Г. Газодинамика: Учебное пособие. Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2010. 132 с.

9. Зезин В.Г. Механика жидкости и газа: Учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. 250 с. EDN: DDHKMH

10. Лелеева Е.Н. Газодинамика: методические указания / Е.Н. Лелеева, Н.М. Лелеева, В.М. Овсянников. М.: Издательство МГОУ, 2013. 28 с. EDN: TUTSZN

11. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Учебник. М.: Изд-во «Наука», 1978. 736 с.

12. Оптимизация (обоснование) удельных нормативов водопотребления: отчет о НИР. М.: НИИСФ, 2017. 342 с.

Об авторах

Дмитрий Юрьевич Короткоручко, аспирант; AuthorID: 1129309; ORCID: 0009-0009-6613-3352; SPIN-код: 1116-6838; d.kor.kwc@mail.ru

Мунзер Сулейман Али, доцент, канд. техн. наук; WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-код: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Короткоручко Д.Ю., Али М.С. выполнили экспериментальные и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 22.04.2025

Поступила после рецензирования / Revised after peer review 20.06.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 20.06.2025

2024. – Moscow: RGAU-MSA named after C.A. Timiryazev, 2024. P. 71-76. EDN: PKEDBJ

3. Korotkoruchko D.Y. Determination of power and energy characteristics of pumps with variable speed in water supply systems with hydraulic diaphragm tanks / D.Y. Korotkoruchko, M.S. Ali // Prirodoobustroystvo. 2025. No. 1. P. 104-110. DOI: .26897/1997-6011-2025-1-104-110. EDN: AHDYSG

4. Korotkoruchko D.Y. Experimental study of the influence of hydraulic diaphragm tanks on the operation of centrifugal pumps with variable speed in local water supply systems / D.Y. Korotkoruchko // Hydraulic Engineering. 2025. No. 1(78). P. 46-55. EDN: GQKMTB

5. Membrane expansion tanks for Zilmet® water supply, heating and air conditioning systems. Technical data sheet, installation and operating instructions.

6. Leznov B.S. Energy-saving automated systems in water supply and sanitation // Water supply and sanitary engineering. 2004. No. 2.

7. Ali M.S. Pumps and pumping stations: Textbook/ M.S. Ali., D.S. Beglyarov, V.F. Chebaevsky. Moscow: Publishing House of RGAU-MSHA, 2015. 104 p.

8. Zezin V.G. Hydraulic gas dynamics: A textbook / V.G. Zezin. Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 2010. 132 p.

9. Zezin V.G. Mechanics of liquid and gas: A textbook / V.G. Zezin. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center, 2016. 250 p. EDN: DDHKMH

9. Leleeva E.N. Hydraulic gas dynamics / E.N. Leleeva, N.M. Leleeva, V.M. Ovsyannikov. Moscow: Moscow State University Publishing House, 2013. 28 p. EDN: TUTSZN

10. Loitsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. Textbook. Moscow: Nauka Publishing House, 1978. 736 p.

12. Optimization (justification) of specific water consumption standards: research report. Moscow: NIISF, 2017. 342 p.

Information about the authors

Dmitrii Y. Korotkoruchko, postgraduate student; AuthorID: 1129309; ORCID: 0009-0009-6613-3352; SPIN-code: 1116-6838; d.kor.kwc@mail.ru

Munzer S. Ali, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-code: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

Korotkoruchko D.Y., Ali M.S. carried out experimental and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication. All the authors are equally responsible for violations in the field of ethics of scientific publications.

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

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-125-132>

УДК 630.174:630.27(574.2)



КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ДЕКОРАТИВНОСТИ СПИРЕЙ (*SPIRAEA* L.) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА

Я.А. Крекова¹, С.В. Залесов^{2✉}, Н.К. Чеботько¹

¹ Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана; г. Щучинск, ул. Кирова, 58, Республика Казахстан

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»; 620032, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация

Аннотация. Цель работы – комплексная оценка декоративности кустарников рода *Spiraea* L., произрастающих в коллекционных насаждениях дендропарка и арборетума КазНИИЛХА (северная часть Казахстана). На основании исследований, выполненных в арборетуме и дендропарке Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации (КазНИИЛХА), установлены декоративность и перспективность для использования в озеленении населенных пунктов Северного Казахстана 15 видов и сортов растений рода спирея (*Spiraea* L.). Возраст исследуемых растений варьируется от 10 до 30 лет. В процессе исследований выполнена балльная оценка видов и сортов по 10 признакам: архитектура кроны; длительность цветения; обилие цветения; окраска, величина цветков; аромат цветков, плодов, листьев, привлекательность внешнего вида плодов; осенняя окраска листьев; продолжительность облиствления, повреждаемость; зимостойкость. Установлено, что все 15 видов и сортов спиреи характеризуются высокой степенью декоративности и устойчивости. Несмотря на жесткие лесорастительные условия, объясняемые недостатком осадков, холодными зимами, поздними весенними и ранними осенними заморозками, сумма баллов при оценке варьируется от 32 до 39. Лучшими показателями декоративности и устойчивости характеризуются сорта спиреи японской *S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Magus carpet», *S. japonica* «Macrophylla». Все указанные сорта набрали 39 баллов. Наиболее низкой суммой баллов характеризуется вид спиреи *S. douglasii* Hook, но даже этот вид набирает 32 балла, что позволяет отнести его к группе высокодекоративных. В целом можно констатировать, что для Северного Казахстана перспективным является использование всех 15 видов и сортов спиреи. Их применение в озеленении позволит повысить декоративность, устойчивость и рекреационную привлекательность объектов озеленения. Однако учитывая важность проблемы, исследования по изучению перспективности видов и сортов рода *Spiraea* L. следует продолжить.

Данные исследования финансируются Министерством экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (№ BR23590517).

Ключевые слова: *Spiraea* L., архитектура кроны, цветение, листья, декоративность, интродуценты, Северный Казахстан

Формат цитирования: Крекова Я.А., Залесов С.В., Чеботько Н.К. Комплексная оценка декоративности спирей (*Spiraea* L.) в северной части Казахстана // Природообустройство. 2025. № 4. С. 125-132. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-125-132>

Original article

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE SPIREA DECORATIVENESS (*SPIRAEA* L.) IN THE NORTHERN PART OF KAZAKHSTAN

Y.A. Krekova¹, S.V. Zalesov², N.K. Chebotko¹

¹ A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

² Ural State Forestry University, 37, Sibirskiy Trakt, Yekaterinburg, 620032, Russia

Abstract. The purpose of the work is to carry out a comprehensive assessment of the decorative value of shrubs of the genus *Spiraea* L., growing in the collection stands of the arboretum and arboretum

of Kazniilkha (northern part of Kazakhstan). Based on research performed in the arboretum and Arboretum of the Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry (KazNIILHA) Fifteen species and varieties of plants of the genus *Spiraea* (*Spiraea* L.) have been found to be decorative and promising for use in landscaping settlements in Northern Kazakhstan. The age of the plants studied ranged from 10 to 30 years. In the course of the study a point system of species and varieties was made according 10 characteristics: crown architecture; flowering duration; abundance of flowering; size of flowers; aroma of flowers; fruits, leaves; correctness of the appearance of fruits; autumn color of leaves; duration of defoliation, damageability; winter hardness. It has been established that all species and varieties of *spirea* are characterized by a high degree of decorativeness and stability. Despite of the tough forest growing conditions explained by the lack of precipitation, cold winters, late spring and early autumn frosts, the total score in the assessment varies from 32 to 39. The best indicators of decorativeness and stability are characterized by varieties of Japanese *S.*, *Japonica «Goldflame»*, », *S. japonica «Magus carpet»*, *S. japonica «Macrophylla»*. All the varieties tested scored 39 points. The front view of *S. douglasii* Hook has the lowest score, but even this view scores 32 points, which allows it to be classified as highly decorative. In general it can be stated that for north Kazakhstan a promising to use of all 15 species and varieties of *spirea*. Their use in landscaping will improve the decorativeness stability and recreational attractiveness of landscaping objects. However, given the importance of the problem, research on the viability of species and varieties of the genus *Spiraea* L. It should be continued.

This research is funded by the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (No. BR23590517).

Keywords: *Spiraea* L, crown architecture, flowering, leaves, decorativeness, introduced species, northern Kazakhstan

Format of citation: Krekova Y.A., Zalesov S.V., Chebotko N.K. Comprehensive assessment of the *spirea* decorativeness (*Spiraea* L.) in the northern part of Kazakhstan // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 125-132. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-125-132>

Введение. В современном обществе озеленению населенных пунктов и пригородных пространств отведена огромная роль, так как зеленые насаждения улучшают качество воздуха, создают определенный микроклимат, повышают привлекательность общественных пространств и т.п. [1, 2]. В регионах с неблагоприятными климатическими условиями (высокие и низкие температуры, недостаточное количество доступной влаги и т.д.) вопросы озеленения требуют определенного подхода, так как ассортимент растений для достижения этих целей зачастую ограничен [3-5]. К таким регионам относится Северный Казахстан, который согласно физико-географическому положению занимает южную окраину Западно-Сибирской равнины. Климат региона резко континентальный с неблагоприятными погодными условиями и небольшим количеством осадков (300 мм), продолжительность зимнего периода – наибольшая (с ноября по март). Устойчивый летний период приходится на май, июнь и июль, иногда сопровождаясь поздненесенными и раннеосенними заморозками. Продолжительность вегетационного периода колеблется от 135 до 170 суток [6-7]. Видовое разнообразие естественной дендрофлоры региона ограничено 123 видами растений. Значительная доля дендрофлоры представлена кустарниками (72,3%),

к числу которых относятся представители родов *Salix* L., *Atraphaxis* L., *Ribes* L., *Cotoneaster* Medic., *Rosa* L., *Astragalus* L., *Lonicera* L. и др. [8]. В настоящее время в населенных пунктах региона, в том числе в столице Казахстана г. Астане, ведутся масштабные озеленительные работы. Возросла потребность в новых декоративных видах (сортах), характеризующихся устойчивостью к неблагоприятным погодным факторам. Одним из путей увеличения ассортимента декоративных растений является интродукция новых видов и сортов.

В настоящее время ассортимент декоративных растений значительно увеличен за счет создания и поступления на рынок Казахстана новых сортов зарубежной селекции [9]. Одними из наиболее популярных для достижения целей озеленения являются представители рода *Spiraea* L. (спирей или таволга). Кустарники данного рода разнообразны по габитусу кроны, срокам цветения, окраске цветков и др. Выведенные новые сорта и гибриды спирей приобретают всеобщую популярность и востребованность при озеленении населенных пунктов [10-12]. Однако для успешного внедрения новых видов и сортов *Spiraea* в озеленительные насаждения Северного Казахстана необходимы предварительное интродукционное испытание

и оценка способности сохранять декоративные качества, что является одной из актуальных задач современности.

Цель исследований: комплексная оценка декоративности кустарников рода *Spiraea* L., произрастающих в коллекционных насаждениях дендропарка и арборетума КазНИИЛХА (северная часть Казахстана).

Материалы и методы исследований. Исследования кустарников рода *Spiraea* L. были проведены в коллекционных участках интродукторов (арборетум и дендропарк КазНИИЛХА), расположенных в г. Щучинске Акмолинской области (Северный Казахстан). Объектом исследований являлись 15 таксонов рода *Spiraea*. Наиболее молодые таксоны представлены растениями 10-летнего возраста. Старые коллекционные таксоны достигли возраста 30 и более лет, образовав плотные биогруппы за счет поросли и самосева. Исследуемые таксоны проходили все основные фазы развития, в том числе генеративные.

Комплексная оценка декоративности изучаемых кустарников выполнена по шкале от 0 до 5 баллов по 10 признакам: архитектура кроны; длительность цветения; обилие цветения; окраска и величина цветков; аромат цветков,

плодов, листьев; привлекательность внешнего вида плодов; осенняя окраска листьев; продолжительность облиствления; повреждаемость; зимостойкость [13]. На основе суммы баллов по каждому признаку определена степень декоративности растений (табл. 1).

Результаты и их обсуждение. Комплексная оценка декоративности представителей рода *Spiraea* L. была выполнена по 10 признакам на основе наблюдений в течение вегетационного периода (табл. 2).

Архитектоника кроны имеет наибольшее значение при визуальном восприятии растений, так как ее форма, размер, густота и расположение ветвей составляют основу их внешнего облика. По данному показателю изучаемые

Таблица 1. Степень декоративности древесных растений

Table 1. Degree of decorativeness of woody plants

Суммарный балл <i>Total score</i>	Степень декоративности <i>Degree of decorativeness</i>
1-10	Очень низкая / <i>Very low</i>
11-20	Низкая / <i>Low</i>
21-30	Средняя / <i>Middle</i>
31-47	Высокая / <i>Hight</i>

Таблица 2. Комплексная оценка декоративности кустарников *Spiraea* L.

Table 2. Comprehensive assessment of the decorative properties of *Spiraea* L. shrubs

Таксон <i>Taxon</i>	Оценка признаков, баллы / <i>Evaluation of features, points</i>										Сумма баллов <i>Total points</i>
	Архитектоника кроны <i>crown architecture</i>	Длительность цветения <i>flowering duration</i>	Обилие цветения <i>abundance of flowering</i>	Окраска, величина цветков <i>color, size of flowers</i>	Аромат цветков, плодов, листьев <i>the aroma of flowers, fruits, leaves</i>	Привлекательность внешнего вида плодов <i>Attractiveness of the appearance of fruits</i>	Осенняя окраска листьев <i>Autumn leaf color</i>	Продолжительность облиствления <i>Duration of defoliation</i>	Повреждаемость <i>Damageability</i>	Зимостойкость <i>Winter hardiness</i>	
<i>S. japonica</i> L.	3	5	4	5	2	2	3	3	5	5	37
<i>S. japonica</i> «Goldflame»	3	5	4	5	2	2	5	3	5	5	39
<i>S. japonica</i> «Magic Carpet»	3	5	4	5	2	2	5	3	5	5	39
<i>S. japonica</i> «Macrophylla»	3	5	4	5	2	2	5	3	5	5	39
<i>S. douglasii</i> Hook.	3	4	2	5	1	2	3	3	5	4	32
<i>S. salicifolia</i> L.	3	5	4	5	2	2	3	3	5	5	37
<i>S. betulifolia</i> Pall.	3	4	4	4	2	2	3	4	5	5	36
<i>S. × cinerea</i> Zabel	3	4	5	4	2	2	2	4	5	5	36
<i>S. cinerea</i> «Grefsheim»	3	4	3	4	2	2	2	4	5	5	34
<i>S. × vanhouttei</i> (Briot) Zabel	3	4	5	4	2	2	4	4	5	5	38
<i>S. hypericifolia</i> L.	3	4	5	4	3	2	3	4	5	5	38
<i>S. media</i> F. Schmidt	3	4	5	4	2	2	3	4	5	5	37
<i>S. chamaedryfolia</i> L.	3	4	4	4	2	2	3	4	5	5	36
<i>S. trilobata</i> L.	3	4	4	4	2	2	3	3	5	5	35
<i>S. crenata</i> L.	3	4	5	4	3	2	3	4	5	5	38

декоративные кустарники были оценены в 3 балла. Габитус кустарников имеет естественную для вида (сорта) форму и ствол, ветви кроны хорошо сформированны. У большинства изучаемых видов сформирована овальная или округлая форма кроны с нечеткими очертаниями.

В период цветения растения приобретают дополнительный декоративный акцент на общем фоне, а их правильный подбор может обеспечить непрерывное цветение ландшафтной композиции в течение вегетационного периода. Продолжительность цветения обусловлена как биологическими особенностями определенного вида и сорта, так и влиянием внешних факторов. Кустарники рода *Spiraea* L. по периоду цветения подразделяются на две основные группы: весеннецветущие и летнецветущие. Благодаря таким особенностям виды (сорта) *Spiraea* прекрасно комбинируются при создании декоративных композиций непрерывного цветения [14].

Установлено, что у более половины изучаемых кустарников (66,7%) средний период продолжительности цветения длится не более месяца (4 балла). В основном эту группу составили весеннецветущие спиреи, у которых бутоны формируются на прошлогодних побегах, и их развитие приходится на первую часть вегетационного периода. Доля продолжительно цветущих кустарников составляла 33,3%; в их число входят летнецветущие спиреи *S. salicifolia*, *S. japonica* и ее сорта (рис. 1).

Биологические особенности цветения спирей и сроки их прохождения (весеннецветущие и летнецветущие) позволяют создавать декоративные композиции длительного цветения при

озеленительных работах на протяжении вегетационного периода. Эти особенности и другие декоративные качества, а также неприхотливость и простота в уходе, стойкость в условиях культивирования делают спиреи перспективными для использования в озеленении северных регионов [15].

Высокая степень цветения установлена для *S. × cinerea*, *S. × vanhouttei*, *S. hypericifolia*, *S. media* и *S. crenata*, у которых на большей части кустов отмечено массовое образование цветков (5 баллов). Основная доля (53,3%) оцениваемых кустарников характеризовалась умеренным цветением, которое можно было наблюдать у большинства растений каждого таксона (4 балла).

Необильное цветение было установлено для двух видов. У молодых кустарников *S. cinerea* «Grefsheim» на момент оценки декоративности цветы были сформированы в достаточном количестве (3 балла), а у *S. douglasii* цветы были сформированы у многих кустов, но в небольшом количестве (2 балла).

При комплексной оценке декоративности, в частности, у цветущих растений, одними из главных характеристик являются окраска и величина цветков. Стоит отметить, что у представителей рода *Spiraea* мелкие и многочисленные цветки собраны в соцветия, представляющие собой плотные метелки, сидячие зонтики, щитковидные кисти. Иными словами, при оценке данного признака ключевая роль отведена размеру соцветий и окраске цветков. Зачастую именно они играют роль акцента как на самом кустарнике, так и на общем фоне ландшафтной композиции [15]. Соцветия изучаемых таксонов с неярко окраской цветков (белый) были оценены в 4 балла (рис. 2).

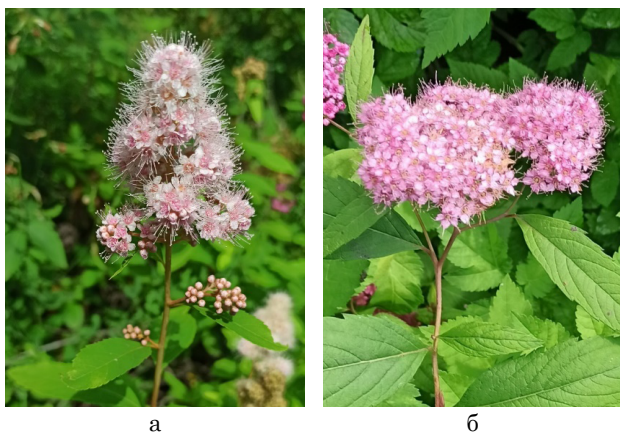


Рис. 1. Кустарники *Spiraea* L. с продолжительным периодом цветения:
а – *S. salicifolia*; б – *S. japonica*
(фото Я.А. Крекова)

Fig. 1. *Spiraea* L. shrubs with a long flowering period:
а – *S. salicifolia*; б – *S. japonica* (photo by Krekov Ya.A.)

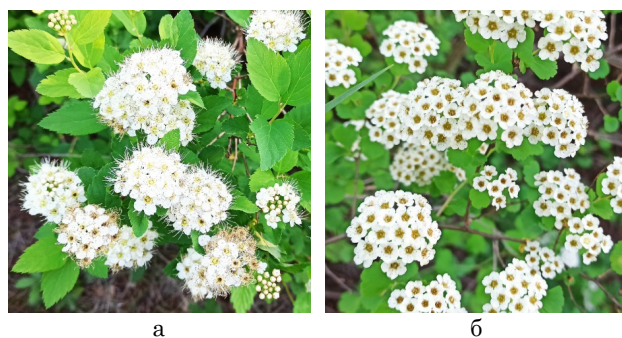


Рис. 2. Кустарники *Spiraea* L. с цветками неярко окраски:
а – *S. chamaedryfolia* L.; б – *S. trilobata* L.
(фото Я.А. Крекова)

Fig. 2. *Spiraea* L. shrubs with flowers of not bright colors:
а – *S. chamaedryfolia* L.; б – *S. trilobata* L.
(photo by Krekova Ya.A.)

Наивысшим баллом были оценены виды (сорта) спирей с цветками яркой и выраженной цветовой окраски (красные, розовые, малиновые и т.д.): *S. japonica*, *S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Magic Carpet», *S. japonica* «Macrophylla», *S. douglasii*, *S. salicifolia*.

При оценке привлекательности внешнего вида плодов все изучаемые таксоны были оценены в 2 балла. Плоды представляют собой мелкие многосемянные листовки, после созревания приобретают серо-коричневый цвет и зачастую сохраняются на кустарниках до следующего года. Внешний вид плодов не отличается привлекательностью, что отрицательно сказывается на общей декоративности кустарников. В связи с этим при необходимости проводят обрезку сухих побегов с увядшими плодами или их сохранившимися частями.

По продолжительности облиствления в течение вегетационного периода изучаемые кустарники были распределены на две основные группы: с рано распускающимися и поздно опадающими листьями (53,3%); с поздно распускающимися и рано опадающими листьями (46,7%). Яркость и цветовая гамма окраски листьев древесных кустарников могут значительно повысить декоративность растений. Некоторые из оцениваемых видов и сортов кустарников относятся к декоративно-лиственной группе, окраска их листьев на протяжении всего периода развития имела оттенки желтого, красного, пурпурного, фиолетового цвета (рис. 3). У растений с такими особенностями цвет листовых пластинок в осенний период становился более

насыщенным с вкраплениями разных оттенков или изменялся на более яркие цвета, поэтому они были оценены в 4 балла.

В настоящее время большой популярностью в озеленении пользуются современные сорта *S. japonica*, декоративность которых обусловлена насыщенно-яркой и разнообразной окраской листвы, изменяющейся в течение всего периода роста [12].

Не меняли окраску или приобретали оттенки лимонно-желтого цвета листья у таких растений, как *S. cinerea* и ее сорт «Grefsheim». У остальных видов и сортов осенняя окраска листьев была желтых и красных оттенков с вкраплениями разных цветов.

Габитус, или внешний вид кустарников, играет первостепенное значение при восприятии общего вида растений. В условиях интродукции по причине влияния внешних неблагоприятных факторов габитус может изменяться и не соответствовать биологическим особенностям вида или сорта. Поэтому в нашем и других исследованиях при оценке декоративности спирей одним из основных критериев является характеристика кроны (форма куста, плотность кроны, компактность куста и др.), на основании которой даются рекомендации по использованию тех или иных таксонов в декоративном садоводстве.

При оценке повреждаемости были учтены наличие или отсутствие механических повреждений, поражение вредителями или болезнями, усыхание больших скелетных ветвей и т.п. В результате оценки установлено, что все испытываемые виды и формы декоративных кустарников не имели повреждений механического или биологического происхождения. В особенно морозные зимы и при отсутствии укрытия снежного покрова незначительно подмерзают однолетние побеги у таких видов, как *S. douglasii*, *S. × vanhouttei*, *S. japonica* и ее сортов. Средняя зимостойкость *S. japonica* «Macrophylla» отмечена и в условиях европейского северо-востока России, в то время как некоторые другие сорта более зимостойки и рекомендованы для использования в озеленении северных городов [15]. На период выполнения оценки зимостойкости незначительное обмерзание побегов установлено только у *S. douglasii*. Однако данные повреждения не оказывали негативного влияния на габитус и декоративность кустарников, так как в течение вегетационного периода крона растений полностью восстановилась за счет формирования новых побегов.

Согласно исследованиям других авторов высокие декоративные качества кустарников



Рис. 3. Декоративно-лиственные кустарники *Spiraea* L.:

а – *S. japonica* «Macrophylla»;

б – *S. japonica* «Magic Carpet»
(фото Я.А. Крекова)

Fig. 3. Ornamental foliage shrubs *Spiraea* L.:

а – *S. japonica* 'Macrophylla'; б – *S. japonica* 'Magic Carpet'
(photo by Krekova Ya. A.)

рода *Spiraea* L. сохраняются при культивировании в различных регионах России: на северо-востоке Европейской части России [12], юге Западной Сибири [16], юге Приморского края [17], на юго-западе России [18] в условиях Северного и Южного Урала [19], в Арктической зоне [20].

В ближнем и дальнем зарубежье для расширения генофонда хозяйственно ценных растений, в том числе в целях озеленения, проводятся работы по интродукции видов и сортов декоративных кустарников, устойчивых в условиях культивирования при антропогенном (промышленном) влиянии, и к их числу относятся представители *Spiraea*. Исследования ряда авторов показывают, что данные таксоны перспективны для внедрения в озеленительные насаждения, так как, помимо декоративных свойств, некоторые кустарники *Spiraea* пригодны в процессах фиторемедиации почв [21].

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о широком распространении и успешном применении в озеленительных насаждениях представителей рода *Spiraea* ввиду проявления декоративных качеств и устойчивости в условиях интродукции. Согласно полученным данным на основе комплексной оценки для всех изучаемых таксонов была установлена высокая степень декоративности с градацией от 32 до 39 баллов. Результаты интродукции исследованных кустарников спиреи в Северный Казахстан свидетельствуют о ее положительном эффекте. Для

расширения ассортимента декоративных кустарников их культивирования в районе исследований работы в данном направлении необходимо продолжить.

Выводы

По результатам комплексной оценки декоративности кустарников *Spiraea* L., произрастающих в коллекционных насаждениях КазНИИЛХА (Северный Казахстан), высокая степень (32-39 баллов) была установлена для 15 видов (сортов). Из анализируемого ассортимента наивысшим средним баллом (39) были оценены сорта спиреи японской (*S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Magic Carpet», *S. japonica* «Macrophylla»), отличающиеся продолжительным периодом цветения, яркостью окраски цветов и декоративностью окраски и размеров листьев на протяжении вегетационного периода. Декоративность остальных видов и сортов спирей обусловлена проявлением определенных признаков в разной степени, но в комплексе они обеспечивают в целом достаточно высокий уровень эстетической привлекательности. Однако с учетом близких показателей декоративности различных видов и сортов рода *Spiraea* L., полученных при использовании шкалы О.С. Залывской и Н.А. Бабиц, исследования в данном направлении планируется продолжить с использованием других шкал перспективности.

Список использованных источников

1. Карташова Н.П. Архитектурно-планировочное решение объектов ограниченного пользования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8 № 1(48). С. 264-271. <https://doi.org/10.34220/2308-8877-2020-8-1-264-271> EDN: CUKTKN
2. Пузанова О.А. Рекреационный потенциал городских лесов города Братска / О.А. Пузанова, Е.О. Муслимова // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2020. Т. 1. С. 181-187. EDN: UHMVAG
3. Гордеева Г.Н. Основные подходы к озеленению селитебных территорий в сухостепной зоне Хакасии // Вестник КрасГАУ. 2021. № 11(176). С. 11-16. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-11-16>
4. Максубекова Г.Т. Подбор адаптивного ассортимента зеленых насаждений для Жезказганского промышленного региона // Естественные и технические науки. 2021. № 1(152). С. 30-33. EDN: WCUWXU
5. Егоров А.А. Особенности подбора ассортимента древесных растений для озеленения городов севера Западной Сибири // Ботанические сады в современном мире. Том выпуск 3. СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2023. С. 68-71. <https://doi.org/10.24412/cl-36595-2023-3-68-71>

References

1. Kartashova N.P. Architectural and planning solution of limited-use facilities // Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2020. Vol. 8No. 1(48). pp. 264-271. <https://doi.org/10.34220/2308-8877-2020-8-1-264-271> EDN: CUKTKN
2. Puzanova O.A. Recreational potential of urban forests of Bratsk / O.A. Puzanova, E.O. Muslimova // Proceedings of the Fraternal State University. Series: Natural and Engineering Sciences. 2020. Vol. 1. P. 181-187. EDN: UHMVAG
3. Gordeeva G.N. Basic approaches to landscaping residential areas in the dry-steppe zone of Khakassia // Bulletin of KrasGAU. 2021. № 11(176). P. 11-16. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-11-16>
4. Maksutbekova G.T. Selection of an adaptive range of green spaces for the Zhezkazgan industrial region // Natural and technical sciences. 2021. No. 1(152). pp. 30-33. EDN: WCUWXU
5. Egorov A.A. Features of selecting an assortment of woody plants for landscaping cities in the north of Western Siberia // Botanical gardens in the modern world. Volume issue 3. St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), 2023. P. 68-71. <https://doi.org/10.24412/cl-36595-2023-3-68-71>
6. Adilbectegi G.A. Assessment of climatic productivity of the natural system of Northern Kazakhstan /G.A.

6. Адильбектеги Г.А. Оценка климатической продуктивности природной системы Северного Казахстана / Г.А. Адильбектеги Ж.С. Мустафаев // Международный научный журнал. 2016. № 2. С. 52-56. EDN: VZZWXX
7. Байшоланов С.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана / С.С. Байшоланов, В.Н. Павлова, А.Р. Жакиева и др. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1(367). С. 168-184. EDN: XRDSBF
8. Мушегян А.М. Деревья и кустарники Казахстана. Алма-Ата: Кайнар, 1966. Т. 2. 344 с.
9. Ситпаева Г.Т. Объекты интродукционных испытаний и коллекционные фонды растений открытого грунта ботанического сада города Астана / Г.Т. Ситпаева, С.В. Чекалин, П.В. Веселова, С.К. Мухтубаева // «Создание и перспективы развития ботанического сада города Астаны в условиях резко континентального климата. Теория и практика». Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Астана: ИБФ, 2017. С. 15-19.
10. Трофимова Е.А. Виды рода *Spiraea* и их использование в озеленении города Томска / Е.А. Трофимова, О.Д. Чернова, К.Г. Титова // Ботанические сады как центры изучения и сохранения фитообразия: Труды Международной научной конф., посвящ. 140-летию Сибирского бот. сада Томского гос. университета, Томск, 28-30 сентября 2020 года. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. С. 190-191. <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-956-3-2020-61>
11. Козлова Е.А. Использование спиреи японской (*Spiraea japonica* L.) в озеленении на примере некоторых сортов / Е.А. Козлова, А.П. Демидова, Л.Р. Ахметова // Научный аспект. 2023. Т. 8. № 9. С. 1021-1027.
12. Смирнова З.И. Перспективные представители рода спиреи (*Spiraea* L.) для городского озеленения // Вестник Кыргызского гос. университета им. И. Арабаева. 2023. № 2. С. 149-153. <https://doi.org/10.33514/1694-7851-2023-2-149-153>
13. Залывская О.С. Шкала комплексной оценки декоративности деревьев и кустарников в городских условиях на севере / О.С. Залывская Н.А. Бабич // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. N1 (15). С. 96-104. EDN: QBHYQF
14. Плотникова Л.С. Спирея в природе и культуре // Лесохозяйственная информация. 2014. № 4. С. 54-58.
15. Смирнова А.Н. Характеристика цветения и оценка декоративности растений *Spiraea japonica* (Rosaceae) коллекции Ботанического сада Института биологии / А.Н. Смирнова, К.С. Зайнуллина // Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. 2021. № 17. С. 50-52.
16. Велижанских Л.В. Декоративные и сортовые особенности спиреи японской в условиях северной лесостепи юга Тюменской области / Л.В. Велижанских, Е.Н. Яркова // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. статей XXXII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 25 ноября 2019 года. Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. С. 14-17. EDN: IEMVSY
17. Мальшева С.К. Декоративность видов рода *Spiraea* L. при интродукции на юге Приморского края // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1(190). С. 34-39. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-1-34-39>
18. Бергун С.А. Изучение декоративных кустарников рода *Spiraea* L. в условиях урбоэкосистемы города Кrasnodara / С.А. Бергун, Е.М. Балабаева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-4. С. 580-582. EDN: WCCMAB
- Adilbectegi J.S. Mustafayev // International Scientific Journal. 2016. No. 2. P. 52-56. EDN: VZZWXX
7. Baisholanov S.S. Agro-climatic resources of Northern Kazakhstan / S.S. Baisholanov, V.N. Pavlova, A.R. Zhakieva et al. // Hydrometeorological research and forecasts. 2018. No. 1(367). P. 168-184. EDN: XRDSBF
8. Mushegyan A.M. Trees and shrubs of Kazakhstan. Alma Ata: Kainar, 1966. Vol.2. 344 p.
9. Sitpayeva G.T. Objects of introduction tests and collection funds of plants of the open ground of the Astana botanical garden / G.T. Sitpayeva, S.V. Chekalin, P.V. Veselova, S.K. Mukhtubayeva // "Creation and prospects of development of the Astana botanical garden in a sharply continental climate. Theory and practice". Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference. Astana: IBF, 2017. P. 15-19.
10. Trofimova E.A. Species of the genus *Spiraea* and their use in landscaping the city of Tomsk / E.A. Trofimova, O.D. Chernova, K.G. Titova // Botanical gardens as centers for the study and conservation of phytodiversity: Proceedings of the International Scientific Conference, dedicated to 140th anniversary of the Siberian bot. Tomsk State University Garden. University, Tomsk, September 28-30, 2020. Tomsk: National Research Tomsk State University, 2020. pp. 190-191. <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-956-3-2020-61>
11. Kozlova E.A. The use of Japanese spiraea (*Spiraea japonica* L.) in landscaping using the example of some varieties / E.A. Kozlova, A.P. Demidova, L.R. Akhmetova // Scientific aspect. 2023. Vol. 8. No. 9. P. 1021-1027.
12. Smirnova Z.I. Promising representatives of the genus spiraea (*Spiraea* L.) for urban landscaping // Bulletin of the Kyrgyz State University. I. Arabaev University. 2023. No. 2. P. 149-153. <https://doi.org/10.33514/1694-7851-2023-2-149-153>
13. Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Scale of comprehensive assessment of decorative trees and shrubs in urban conditions in the north / O.S. Zalyvskaya, N.A. Babich // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Prirodoobustroystvo. 2012. N1 (15). P. 96-104. EDN: QBHYQF
14. Plotnikova L.S. Spirea in nature and culture // Forestry information. 2014. No. 4. P. 54-58.
15. Smirnova A.N. Characteristics of flowering and assessment of the decorative value of *Spiraea japonica* (Rosaceae) plants in the collection of the Botanical Garden of the Institute of Biology / A.N. Smirnova, K.S. Zainullina // Scientific Papers of the Cheboksary branch of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. 2021. No 17. P. 50-52.
16. Velizhanskikh L.V. Decorative and varietal features of Japanese spiraea in the conditions of the northern forest-steppe of the south of the Tyumen region / L.V. Velizhanskikh, E.N. Yarkova // Modern technologies: Current issues, achievements and innovations: collection of articles of the XXXIII International Scientific and Practical Conference, Penza, November 25, 2019. Penza: "Science and Education" (IP Gulyaev G.Yu.), 2019. P. 14-17. EDN: IEMVSY
17. Malicheva S.K. Wild-growing species of the genus *Spiraea* L., native to the Primorsky Territory // Bulletin of the Krasnodar Territory. 2023. No. 1(190). P. 34-39. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-1-34-39>
18. Bergun S.A. The study of ornamental shrubs of the genus spiraea L. in the urban ecosystem of the city of Krasnodar / S.A. Bergun, E.M. Bala-bayeva // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. No. 7-4. P. 580-582. EDN: WCCMAB

19. Кудряшова Н.А. Биологические особенности декоративных кустарников рода *Spiraea* L. в условиях степной зоны Южного Урала / Н.А. Кудряшова, Н.И. Мущинская // Труды института биоресурсов и прикладной экологии: Сборник статей. Выпуск 10. Оренбург: ОГПУ, 2012. С. 74-82.

20. Гончарова О.А. Жизнеспособность и декоративность растений рода *Spiraea* в Арктической зоне России (Кольский полуостров) / О.А. Гончарова, О.Е. Зотова, И.Н. Липпонен, Е.Ю. Полоскова Е.Ю. // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021. № 138. С. 119-127. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2021-138-119-127> EDN: BQBLVR

21. Antkowiak W., Bosiacki M., Sowelo M. Potential of Selected Species of *Spiraea* L. for Phytoremediation of Heavy Metals from Soils of Urban Areas // Agriculture. 2024. Vol. 14 (11): 1916. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111916>

19. Kudryashova N.A. Biological features of ornamental shrubs of the genus *spiraea* L. in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals / N.A. Kudryashova, N.I. Mushinskaya // Proceedings of the Institute of Bioresources and Applied Ecology: Collection of articles Is 0. Orenburg: OGPU, 2012. P. 74-82.

20. Goncharova O.A. Viability and dynamism of the *Spiraea* genus growth in the Arctic zone of Russia (Kola station) / O.A. Goncharova, O.E. Chicharova. Zotova I.N. Lipponen, E.E. Poloskova, E.E. // Belleten of the Nikitsky State Botanical Garden, 2021. No. 138. P. 119-127. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2021-138-119-127> EDN: BQBLVR

21. Antkovyay V., Bosyatsky M., M. Sovelo. The potential of certain L. spiraea species for phytoremediation of heavy metals from urban soils // Agriculture. 2024. Volume 14 (11): 1916. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111916>

Об авторах

Яна Алексеевна Крекова, канд. с.-х. наук, PhD, ассоц. профессор; <http://org/0000-0002-9074-848X>

Сергей Вениаминович Залесов, д-р с.-х. наук, профессор; <http://org/0000-0003-3779-410x>; zalesovsv@m.usfeu.ru

Надежда Константиновна Чеботько, канд. с.-х. наук; <http://org/0000-0002-1092-5248>

About the authors

Yana A. Krekova, CSs (Agro), Associate Professor; <http://org/0000-0002-9074-848X>

Sergey V. Zalesov, DSs (Agro), Professor; <http://org/0000-0003-3779-410x>; zalesovsv@m.usfeu.ru

Nadezhda K. Chebotko, CSs (Agro); <http://org/0000-0002-1092-5248>

Критерии авторства / Criteria of authorship

Крекова Я.А., Залесов С.В., Чеботько Н.К. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 03.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 24.05.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 24.05.2025

Krekova Y.A., Zalesov S.V., Chebotko N.K. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-133-141>

УДК 630*27(470.324)



К ВОПРОСУ РЕКРЕАЦИОННОГО ОБУСТРОЙСТВА ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВОРОНЕЖА)

Н.П. Карташова , А.В. Мануковская, И.В. Голядкина

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, Россия

Аннотация. В исследованиях предпринята попытка рассмотреть особенности рекреационного обустройства лесных участков в городской среде (на примере г. Воронежа). Для достижения поставленной цели последовательно решались следующие задачи: оценка рекреационной привлекательности; расчет экологической рекреационной емкости лесных участков; выделение функциональных зон; разработка ландшафтно-архитектурных решений каждой зоны. Объект исследований – участки Семилукского лесничества (Подгоренское участковое лесничество), которые входят в состав лесопаркового зеленого пояса г. Воронежа. Площадь лесничества составляет 376,4 га. В ходе исследований определены участки в различных типах лесорастительных условий, где выполнена ландшафтно-экологическая и рекреационная оценка, в результате которой были выделены функциональные зоны с учетом показателей предельно допустимого и фактического значений рекреационной емкости территории. Рекомендуемые функциональные зоны и их удельная доля в общем балансе территории: зона экологического ядра (40-50%); зона активного отдыха (0-5%); зона восстановления (20-30%); прогулочная зона (20-30%). Устойчивое развитие лесопаркового зеленого пояса г. Воронежа возможно только с учетом рекреационного потенциала существующих зеленых зон, в основе которого должны быть детальные описания наиболее востребованных лесопокрытых площадей с точки зрения рекреации, а также оценка их устойчивости и создание необходимой рекреационной инфраструктуры.

Ключевые слова: лесопарковый зеленый пояс, рекреационный потенциал, класс устойчивости, стадия депрессии, функциональное зонирование, рекреационная емкость

Формат цитирования: Карташова Н.П., Мануковская А.В., Голядкина И.В. К вопросу рекреационного обустройства лесных участков в городской среде (на примере г. Воронежа) // Природообустройство. 2025. № 4. С. 133-141. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-133-141>

Original article

ON THE ISSUE OF RECREATIONAL DEVELOPMENT OF FOREST AREAS IN AN URBAN ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF VORONEZH)

N.P. Kartashova, A.V. Manukovskaya, I.V. Golyadkina

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov; 8 Timiryazeva St., Voronezh, 394087. Russia

Abstract. This paper attempts to consider the peculiarities of recreational arrangement of forest areas in the urban environment (case study of Voronezh city). To achieve the goal, the following tasks were consistently solved: assessment of recreational attractiveness, calculation of ecological recreational capacity of forest areas, allocation of functional zones and development of landscape-architectural solutions for each zone. The object of the study is the areas of Semiluky Forestry (Podgorenskoye District Forestry), which are part of the forest and park green belt of the city of Voronezh. The area of the Forestry is 376.4 ha. In the course of the research were identified areas in different types of forest conditions, where the landscape-ecological assessment and recreational assessment was carried out, which resulted in the allocation of functional zones, taking into account the indicators of maximum permissible and actual value of recreational capacity of the territory. The recommended functional zones and their specific share in the overall balance of the territory are: ecological core zone (40-50%), active recreation zone (0-5%), recovery zone (20-30%) and walking zone (20-30%). Sustainable development of the forest park green belt of the city of Voronezh is possible only taking into account the recreational potential of existing green zones, which should be based on detailed descriptions of the most popular forested areas from the point of view of recreation, as well as an assessment of their sustainability and the creation of the necessary recreational infrastructure.

Keywords: the forest and park green belt, recreational potential, stability class, digression stage, functional zoning, recreational capacity

Format of citation: Kartashova N.P., Manukovskaya A.V., Golyadkina I.V.. On the issue of recreational development of forest areas in an urban environment (on the example of the city of Voronezh) // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 133-141. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-133-141>

Введение. Идея благоустройства зеленого пояса в г. Воронеже перекликается с современными мировыми тенденциями¹ [1]. Е.М. Рунова и П.С. Гнаткович в своей работе указывают на то, что «...организация рекреационных зон в пределах жилой застройки имеет большое значение для повышения комфортности проживания человека в условиях города, и одним из перспективных направлений в этой области является рекреационное освоение лесных массивов, включенных в городскую застройку» [2]. Особое внимание при разработке планировочного решения необходимо уделять современным тенденциям ландшафтной архитектуры на основе исторического контекста территории. Существующая зеленая инфраструктура должна быть экологически благоприятной и пригодной для жителей города и туристов [3-7].

Актуальными являются вопросы рекреационного обустройства лесных участков в городской среде. В связи с этим во многих городах получает свое развитие выполнение работ по организации лесопарковых зеленых поясов с целью реализации права граждан на благоприятную окружающую среду. В Центральной части России зеленые пояса городов включают в себя, в том числе, территории, на которых расположены участки земель лесного фонда, выполняют экологические, природоохранные и средообразующие функции и нуждаются в организации рекреационного регулирования.

Цель исследований: на примере крупного города рассмотреть возможность рекреационного обустройства лесных участков.

Для достижения поставленной цели последовательно решались следующие задачи: оценка рекреационной привлекательности; расчет экологической рекреационной емкости лесных участков; выделение функциональных зон; разработка ландшафтно-архитектурных решений каждой зоны.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследований послужили кварталы Семилукского лесничества (Подгоренское участковое лесничество), которые входят в состав лесопаркового зеленого пояса (ЛЗП)

города Воронежа. Площадь лесничества составляет 376,4 га (рис. 1).

По данным лесоустройства, по целевому назначению это леса зеленых зон, защитных полос вдоль железных и автомобильных дорог (табл. 1).

Основными лесообразующими породами на территории лесопаркового зеленого пояса с наибольшей площадью покрытия являются сосна обыкновенная, занимающая площадь 282,57 га и дуб черешчатый, площадь которого составляет 22,8 га. Эти породы оказывают значительное влияние на экологическое состояние самого города [8]. Второстепенными породами являются акация белая (0,5 га), клен ясенелистный (0,2 га), береза повислая (16,7 га), осина (2,6 га), которые также имеют важное природно-экологическое, эстетическое и хозяйственное значение.

Исследования были проведены в кварталах № 1, 2, 101, 104, 142, 143 Семилукского лесничества. На объектах исследований были заложены пробные площади с учетом требований ОСТ 56-69-83. Была выполнена рекреационная оценка по нормативным данным, которые включали в себя следующие показатели: 30 баллов и меньше – непригодный рекреационный объект; от 30 до 50 баллов – удовлетворительный рекреационный объект; от 50 до 70 баллов – хороший рекреационный объект; более 70 баллов – превосходный рекреационный объект [3-7].

В ходе исследований объекта определили класс устойчивости природного комплекса с учетом преобладающей породы и типа лесорастительных условий к рекреационным нагрузкам [9-10]. На каждой пробной площади выявили стадию дигрессии.

Результаты и их обсуждение. На объектах исследований проведен анализ картографического материала, выполнена рекреационная оценка территории, осуществлена разработка схемы дорожно-тропиночной сети и функционального зонирования, рекомендаций по созданию инфраструктуры.

В результате исследований разработано функциональное зонирование и предложено создание рекреационной инфраструктуры.

Основными параметрами рекреационной оценки, которые учитывались при исследованиях, являются: дефицитность леса; преобладающая

¹ О создании лесопаркового зеленого пояса города Воронежа и о его площади: постановление Воронежской областной думы от 7 марта 2019 г. № 1665-VI-ОД. Режим доступа: <https://pravo.govvrn.ru/content/>.

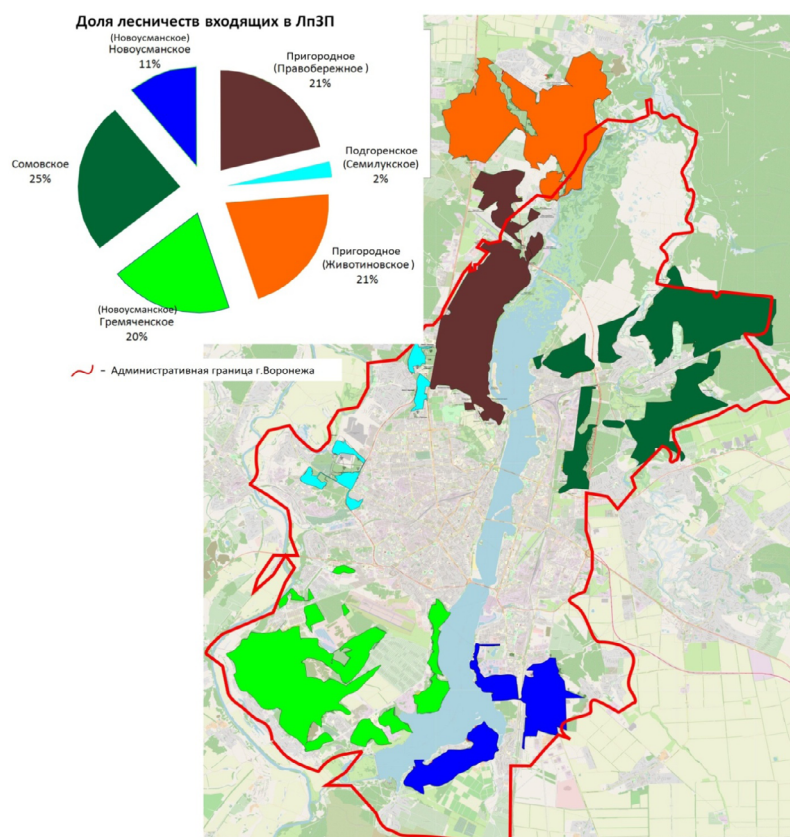


Рис. 1. Карта-схема границ лесопаркового зеленого пояса г. Воронежа

Fig. 1. Map-scheme of the boundaries of the forest-park green belt of Voronezh

Таблица 1. Категории земель зеленого пояса

Table 1. Categories of green belt lands

Категория земель / Land category	Площадь, га / Area, ha	%
Общая площадь земель / Total land area	376.40	100
Лесные земли – всего / Forest lands – total:	350.20	93.0
Земли, покрытые лесной растительностью, всего: Lands covered with forest vegetation, total:	325.37	86.4
в том числе / including:		0.0
лесные культуры / forest crops	305.27	81.1
Земли, не покрытые лесной растительностью, всего: Lands not-covered with forest vegetation, total:	24.83	6.6
в том числе / including:		
Несомкнувшиеся лесные культуры / Unclosed forest cultures	17.00	4.5
Фонд лесовосстановления, всего / Forest restoration fund, total:	7.83	2.1
в том числе / including:		0.0
вырубки / clearings	0.53	0.1
прогалины / clearings	2.80	0.7
гари / burnt areas	4.50	1.2
Нелесные земли – всего / Non-forest lands – total:	26.20	7.0
ландшафтные поляны / landscape clearings	1.50	0.4
дороги, просеки / roads, clearings	9.40	2.5
прочие нелесные земли / other non-forest lands	15.30	4.1

порода; состав древостоя; форма древостоя; наличие полян, опушек, водных пространств, памятников природы, а также элементов благоустройства. Поскольку эти показатели необходимы для

правильного подбора параметров по использованию данного участка, также были изучены рельеф, загрязненность и проходимость. При суммировании всех перечисленных показателей

рекреационная оценка объекта составила 64 балла из 110-балльной шкалы. Следовательно, объект оценивается как «хороший». Данный показатель можно будет увеличить до 84 баллов («превосходный» рекреационный объект) за счет мероприятий по благоустройству.

На объекте исследований преобладающей породой является сосна обыкновенная, произрастающая в типах лесорастительных условий: сухие субори (B_1), свежие субори (B_2) и свежий бор (A_2). Таким образом, природные комплексы имеют 4, 3 и 4 классы устойчивости соответственно. На территории исследуемых участков лесничества распространены и достигли первых трех стадий рекреационной дигрессии участки вдоль дорог, около жилых домов, на полянах. Исключением являются прогалины, которые встречались на объекте исследований и которым присвоена V стадия дигрессии. Исходя из полученных параметров: стадии дигрессии и класса устойчивости, – можно определить фактическую рекреационную нагрузку (чел.-дн/га). Также учитывались форма рекреации и коэффициент ландшафтной доступности. Преобладающим видом рекреационного использования лесов объекта является общественная рекреация в форме массового самостоятельного отдыха [10, 11], где коэффициент доступности составил 0,5-0,7.

Используя методику М.Т. Серикова по определению фактической рекреационной нагрузки, мы рассчитали этот показатель для каждой пробной площади [11, 12]. Основные насаждения, произрастающие на объекте исследований, формируют третий класс устойчивости с типом лесорастительных условий B_2 , поэтому допустимая рекреационная нагрузка составила 7,5 чел.-дн/га. Соответственно в условиях B_1 и четвертого класса устойчивости допустимая рекреационная

нагрузка составила 4,4 чел.-дн/га. На объекте исследований встречались участки и с меньшими показателями рекреационной нагрузки: например, на пробной площади 3 выявлена III стадия дигрессии, которая указывает на показатель рекреационной нагрузки 5,0 чел.-дн/га с колебаниями от 2,5 до 7,5 чел.-дн/га, что будет указывать на предельно допустимую нагрузку.

Для правильного определения формы пользования объектом необходимо провести анализ и сравнить средневзвешенную величину емкости и среднеарифметическую величину нагрузки с учетом площади и формы рекреации [11].

На объекте исследований показатель средневзвешенного значения экологической рекреационной емкости, которая составляет 6,4 чел.-дн/га, в 1,6 раза больше средневзвешенной фактической рекреационной нагрузки, но при этом она колеблется от 2,3 до 5,5 чел.-дн/га и составляет на данном участке 3,9 чел.-дн/га (табл. 2). Соответственно исследуемый участок лесничества обладает большим потенциалом рекреационного использования, но с условием регулирования на нем массового самостоятельного отдыха.

По принципу и алгоритму, описанным выше, необходимо поведельно произвести расчет. В таблице 3 приведены данные, рассчитанные на пробных площадях по следующим показателям: класс устойчивости, стадии дигрессии, фактическая и предельно допустимая нагрузка, коэффициент ландшафтной доступности, а также экологическая и рекреационная емкость, которые необходимы для разработки мероприятий, направленных на регулирование рекреационного пользования. Например, на выделе 1 (квартал № 1, пр. пл. 1) нагрузка в 5 раз меньше экологической емкости участка, поэтому

Таблица 2. Средние показатели экологической рекреационной емкости и нагрузки, чел.-дн./га

Table 2. Average indicators of ecological recreational capacity and load, people-days/ha

Показатели <i>Indicators</i>	Тип лесорастительных условий (ТЛУ) <i>Type of forest growth conditions (FGC)</i>	Преобладающая порода <i>Predominant species</i>	По подгоренскому лесничеству <i>According to Podgorensky forestry</i>
	B_2	Сосна / Pine	
Среднеарифметические величины / Weighted average values			
Фактическая нагрузка <i>Actual load</i>	3,9 2,2-5,8	3,6 2,1-5,38	2,8 1,5-4,2
Средневзвешенные величины / Weighted average values			
Экологическая рекреационная емкость <i>Ecological recreational capacity</i>	6,7	7,8	6,4
Фактическая рекреационная нагрузка <i>Actual recreational load</i>	2,7 1,7-3,9	3,6 2,1-4,5	3,9 2,3-5,5

мероприятия не требуются для регулирования этого вида пользования. Для выдела 1 (квартал № 104, пр. пл. 5) и выдела 18 (квартал № 142, пр. пл. № 10) фактическая нагрузка лишь в пиковом значении (знаменатель) достигает предела рекреации, и мероприятия по регулированию рекреационного пользования здесь не столь актуальны. Только на прогалинах фактическая нагрузка превышает экологическую емкость, следовательно, здесь необходимо наметить ограничительные и восстановительные мероприятия, отвлекающие от этих участков отдыхающих.

Таким образом, данные результатов (табл. 3) показывают, где фактическая нагрузка превышает экологическую. Следовательно, эти выделы в первую очередь нуждаются в проведении мероприятий по озеленению и благоустройству.

Остальные выделы, взятые для исследований, имеют фактическую нагрузку меньше экологической емкости. Поэтому для повышения показателя фактической нагрузки необходимо провести мероприятия, включающие в себя размещение элементов благоустройства и устройство дорожно-тропиночной сети, чтобы увеличить рекреационный потенциал на данных участках.

Чтобы оценить необходимость хозяйственного вмешательства, в исследуемом лесничестве были установлены стадии дигрессии повыделно, а показатели рекреационных нагрузок помогли

определить рекреационный потенциал и баланс территории для выявления основных мероприятий, направленных на развитие и благоустройство территории лесничества для массового самостоятельного отдыха.

Для более грамотного применения мероприятий, направленных на благоустройство и развитие лесничества, способствующих улучшению рекреационного использования, необходимо разработать функциональное зонирование с учетом показателей предельно допустимого и фактического значений. Исходя из имеющихся данных нами были выделены следующие функциональные зоны:

– лесопарковая категория ландшафта (включает в себя зону для размещения спортивных и детских площадок и располагается рядом с селитебной территорией) – 199,4 га, в том числе зона активного отдыха – 13,5 га;

– прогулочная зона (лесопарковая категория рекреационного ландшафта с ограниченным режимом развития активных форм отдыха, предназначенная для пеших и велосипедных прогулок, с выделением оборудованных участков под пикниковую рекреацию) – 95,4 га;

– зона восстановления (лесопарковая категория рекреационного ландшафта, где запланировано проведение мероприятий по охране и воспроизводству лесов) – 90,5 га;

Таблица 3. Повыделный расчет экологической и фактической рекреационной емкости
Table 3. Per-allocation calculation of ecological and actual recreational capacity

Тип лесорастительных условий <i>Type of forest growing conditions</i>	Класс устойчивости <i>Class of stability</i>	Стадия дигрессии <i>Stage of digression</i>	Нагрузка на 1 га бездорожной формы рекреации <i>Load on 1 ha of roadless recreational form</i>		Коэф. ландшафтн. доступности (КЛД) <i>Coefficient of landscape accessibility (CLA)</i>	На выделе <i>On the allocation</i>	
			предельно допустимая <i>maximum permissible</i>	фактическая <i>actual</i>		Экологическая рекреационная ёмкость <i>Ecological recreational capacity</i>	Фактическая рекреационная нагрузка <i>Actual recreational load</i>
Квартал 1, выдел 1, 2... / <i>Quarter 1, section 1, 2</i>							
B2	3	2	7.5	$\frac{1.8}{1.2-2.5}$	0,5	3	$\frac{0.5}{0.3-0.6}$
B2	3	2	7,5	$\frac{1.8}{1.2-2.5}$	0,5	13,1	$\frac{3.2}{2.1-4.4}$
Квартал 104, выдел 1, 2 / <i>Quarter 104, section 1, 2</i>							
A2	4	3	4,4	$\frac{2.9}{1.4-4.4}$	0,5	1,5	$\frac{1.0}{0.5-1.5}$
A2	4	2	4.4	$\frac{1.0}{0.7-1.4}$	0,5	2,6	$\frac{0.6}{0.4-0.8}$
Квартал 142, выдел 18 / <i>Quarter 142, section 18</i>							
B2	3	3	7,5	$\frac{5.0}{2.5-7.5}$	0,5	2,3	$\frac{1.5}{0.8-2.3}$
Квартал 143, выдел 13 / <i>Quarter 143, section 13</i>							
B2	5	5	2,1	$\frac{5.5}{4.2-6.8}$	0,7	0,6	$\frac{1.5}{1.2-1.9}$

– зона экологического ядра (территории, обеспечивающие долговременное функционирование экосистем на основе естественной динамики и местообитания, популяции видов или ландшафтов высокой природоохранной значимости, – 153 га;

– прочие земли (грунтовые дороги, противопожарные разрывы, линии электропередач) – 24 га.

В результате система мероприятий по регулированию рекреационного пользования разрабатывается для каждой выделенной зоны отдельно (табл. 4).

Таблица 4. Расчетные показатели по благоустройству территории ЛЗП, Семилукское лесничество

Table 4. Estimated indicators for the improvement of the territory of the FGB, Semiluksky forestry

№ n/n	Наименование мероприятий <i>Name of events measurement</i>	Ед. изм. <i>Unit of mea- surement</i>	Потребность в основных материалах <i>Need for basic materials</i>
«Лесопарковая категория рекреационного ландшафта» Зона активного отдыха – 13,5 га <i>“Forest park category of recreational landscape”</i> Active recreation area – 13.5 ha			
1	Устройство дорожно-тропиночной сети / <i>Construction of road and path network:</i>	Км / km	1,335
2	основные / <i>main</i>	Км / km	0,435
3	второстепенные / <i>secondary</i>	шт. / pcs	4
4	Установка скамеек / <i>Installation of benches</i>	шт. / pcs	2
5	Установка аншлагов / <i>Installation of signs</i>	шт. / pcs	10
6	Установка урн / <i>Installation of refuse bin</i>	шт. / pcs	3
7	Установка мусоросборников / <i>Installation of garbage bins</i>	шт. / pcs	100
8	Устройство спортивной площадки (2 шт) / <i>Construction of sports ground (2 pcs)</i>	м ² / m ²	100
8	Устройство детской площадки (2 шт) / <i>Construction of children's playground (2 pcs)</i>	м ² / m ²	100
	Устройство входной группы / <i>Construction of entrance group</i>	шт. / pcs	4
«Лесопарковая категория рекреационного ландшафта» Прогулочная зона – 95,4 га <i>“Forest park category of recreational landscape”</i> Walking area – 95.4 ha			
1	Устройство дорожно-тропиночной сети / <i>Construction of road and path network:</i>	Км / km	6,468
2	основные / <i>main</i>	Км / km	1,54
3	второстепенные / <i>secondary</i>	шт. / pcs	20
4	Указатели / <i>Signs</i>	шт. / pcs	18
5	Скамейки / <i>Benches</i>	шт. / pcs	10
6	Оборудование мест для пикника в т.ч. / <i>Equipment of picnic areas, incl.:</i>	шт. / pcs	10
	навес / <i>canopy</i>	шт. / pcs	10
	пикниковый стол 6-местн. / <i>6-seater picnic table</i>	шт. / pcs	5
	очаг для приготовления пищи / <i>fireplace for cooking</i>	шт. / pcs	8
7	Аншлаги / <i>Signs</i>	шт. / pcs	45
8	Урна / <i>Refuse bin</i>	шт. / pcs	9
9	Мусоросборники / <i>Garbage bins</i>	шт. / pcs	14
10	Устройство входной группы / <i>Entrance group device</i>	шт. / pcs	
«Лесопарковая категория рекреационного ландшафта» Зона восстановления – 90,5 га <i>“Forest park category of recreational landscape”</i> Restoration zone – 90.5 ha			
1	Аншлаги / <i>Signs</i>	шт. / pcs	2
«Лесная категория рекреационного ландшафта» Зона экологического ядра – 153 га <i>“Forest category of recreational landscape”</i> Ecological core zone – 153 ha			
1	Аншлаги / <i>Signs</i>	шт. / pcs	4
ПРОЧИЕ ЗЕМЛИ (в т.ч. противопожарн. разрывы, ЛЭП и т.д.) 24,0га OTHER LANDS (incl. fire breaks, power lines, etc.) 24.0 ha			

Одним из ключевых мероприятий по благоустройству территории лесопаркового пояса является устройство дорожно-тропиночной сети общей протяженностью 7,8 км. По данным И.В. Казанцева и Т.Б. Матвеевой (2018), хаотичное расположение троп усиливает действие рекреационных нагрузок, которые в свою очередь увеличивают фаутиность и изреживание древостоя [10].

В зоне активного отдыха планируются установка скамеек, аншлагов, урн, мусоросборников (контейнерная площадка), спортивные площадки, детские площадки и устройство входной группы (рис. 2).

В прогулочной зоне планируется установка указателей, аншлагов, скамеек и урн, оборудования мест для пикника, в том числе навес, пикниковый стол 6-местный и очаг для приготовления. Также рекомендуются установка мусоросборников (контейнерная площадка) и устройство входной группы.

В функциональных зонах с минимальной интенсивностью посещения (зона экологического ядра и зона восстановления) планируется только установка аншлагов (рис. 3).

Таким образом, устойчивое развитие лесопаркового зеленого пояса города Воронежа возможно только с учетом детального описания наиболее востребованных площадей лесного зеленого пояса с точки зрения рекреации, оценки их устойчивости и создания необходимой рекреационной инфраструктуры. Результаты исследований подтверждают значительный природно-рекреационный потенциал лесопаркового зеленого пояса Воронежской агломерации. Однако отмечается нехватка регулируемой рекреации в пределах созданного лесопаркового зеленого пояса для полной реализации потенциала и обеспечения устойчивого развития территории зеленого пояса Воронежа.

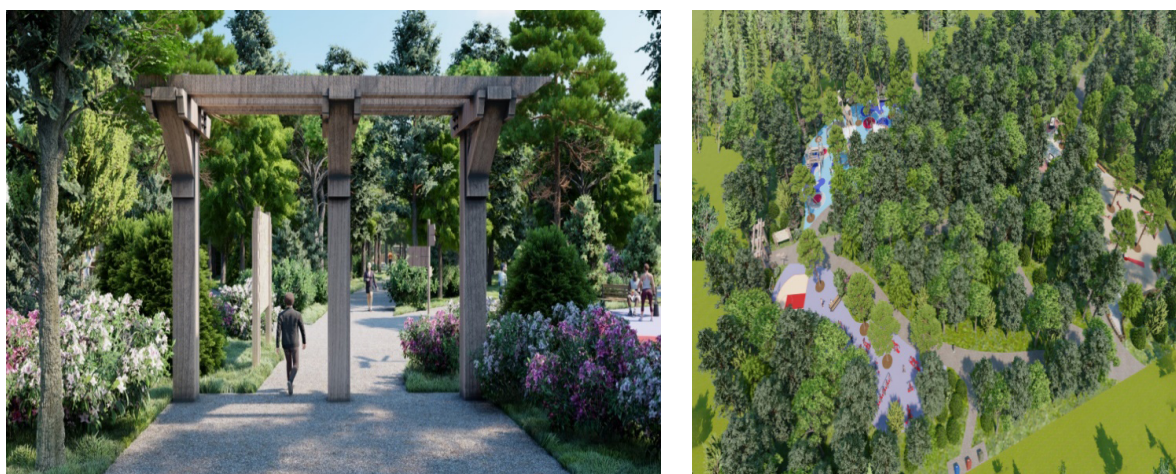


Рис. 2. Входная группа в зоне активного отдыха в тематике «Зеленый якорь» и зона активного отдыха

Fig. 2. The entrance group in the «Green Anchor» outdoor recreation area and the outdoor recreation zone



Рис. 3. Территория зоны экологического ядра с информационным аншлагом

Fig. 3. The territory of the Ecological core zone with an information board

Выводы

- Созданы основы регулирования рекреационной деятельности и природопользования.
- В результате исследований выявлено, что преобладающей породой на территории лесопаркового зеленого пояса в пределах Семилукского участкового лесничества является сосна обыкновенная, произрастающая в лесорастительных условиях B_1 (сухая суборь), B_2 (свежая суборь) и A_2 (свежий бор).
- Оценка рекреационной привлекательности изучаемого участка лесопаркового зеленого пояса показала необходимость проведения дополнительных мероприятий по благоустройству территории.
- О наличии значительного рекреационного потенциала исследуемого лесничества свидетельствует высокое средневзвешенное значение экологической рекреационной емкости, которое в 1,6 раза превышает средневзвешенную фактическую рекреационную нагрузку.
- Установлено, что для разработки мероприятий по благоустройству, которые

способствуют регулированию рекреационного пользования, необходимо использовать повысительные показатели экологической рекреационной емкости и нагрузки.

– Выявлено, что в балансе функциональных зон территории лесопаркового зеленого пояса в Семилукском участковом лесничестве преобладает зона экологического ядра, составляющая 47%. На долю наиболее востребованных с точки зрения рекреации участков, непосредственно примыкающих к жилой застройке (зона активного отдыха), а также участков с наличием уже сложившихся мест отдыха и направлений основных потоков посетителей (прогулочная зона) приходится 3,5 и 25% соответственно. На зону восстановления приходится 24%.

– В пределах каждой функциональной зоны произведен фактический расчет показателей по благоустройству территории и предложены концептуальные основы проектирования территории лесопаркового зеленого пояса.

Список использованных источников

1. Карташова Н.П. Ландшафтно-планировочная организация парка «Северный лес» г. Воронежа / Н.П. Карташова Н.П., Е.Н. Кулакова // Лесоведение. 2023. № 6. С. 675-684. EDN: EKGWGO. doi: 10.31857/S0024114823060049
2. Рунова Е.М. Перспективы рекреационного использования городских лесов селитебной территории Братска / Е.М. Рунова, П.С. Гнаткович // Лесной журнал. 2015. № 3. С. 43-52. EDN: TTGTDX
3. Syrbe R.-U.; Neumann I.; Grunewald K.; Brzoska P.; Louda J.; Kochan B.; Macháč J.; Dubová L.; Meyer P.; Brabec J.; Bastian O. 2021 The Value of Urban Nature in Terms of Providing Ecosystem Services Related to Health and Well-Being: An Empirical Comparative Pilot Study of Cities in Germany and the Czech Republic. *Land* 10 341 <https://doi.org/10.3390/land10040341>
4. Рунова Е.М. Перспективы рекреационного использования городских лесов селитебной территории Братска / Е.М. Рунова, П.С. Гнаткович // Лесной журнал. 2015. № 3. С. 43-52.
5. Finaeva O. Role of Green Spaces in Favorable Microclimate Creating in Urban Environment (Exemplified by Italian Cities). 2017 *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 262012141 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012141>
6. Galychyn O. Organic Urbanism: Human-oriented Design for Metropolises [Text] / O. Galychyn, Kevser Ustundag
7. Kamal N. 2017 Greening the Urban Environment Using Geospatial Techniques, A Case Study of Bangkok, Thailand / N. Kamal, Muhammad Imran, Nitin Kumar Tripathi // *Procedia Environmental Sciences* 141-152.
8. Водолажский А.Н. Определение величин снижения лесного рекреационного ресурса в связи с техногенным влиянием / А.Н. Водолажский, М.Т. Сериков // Лесотехнический журнал. 2013. № 4(12). С. 70-76.

References

1. Kartashova N.P. Landscape planning organization of the Northern Forest Park in Voronezh / N.P. Kartashova N.P., E.N. Kulakova // *Forestry science*. 2023. No. 6. P. 675-684. REGISTRATION number: EKGWGO. doi: 10.31857/S0024114823060049
2. Runova E.M., Prospects of recreational use of urban forests in the residential territory of Bratsk / E.M. Runova, P.S. Gnatkovich // *Forest Journal*. 2015. No. 3. P. 43-52. EDN: TTGTDX
3. Sirbe R.-U.; Neiman I.; Grunewald K.; Brzoska P.; Louda J.; Kochan B.; Machac J.; Dubova L.; Meyer P.; Brabec J.; Bastian O. 2021 The value of urban nature in terms of ecosystem services related to health and well-being: An empirical comparative pilot study of cities in Germany and the Czech Republic. *Land* 10 341 <https://doi.org/10.3390/land10040341>
4. Runova E.M. Prospects of recreational use of urban forests in the residential area of Bratsk / E.M. Runova, P.S. Gnatkovich // *Lesn. zhurn.* 2015. № 3. P. 43-52.
5. Finaeva O. The role of green spaces in creating a favorable microclimate in an urban environment (using the example of Italian cities). *IOP 2017 Conference Series: Materials Science and Engineering* 262012141 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012141>
6. Galichin O. Organic urbanism: human-oriented design of megacities [Text] / O. Galichin, Kevser Ustundag
7. Kamal N. Greening the urban environment using geospatial methods in 2017 using the example of Bangkok, Thailand / N. Kamal, Muhammad Imran, Nitin Kumar Tripathi // *Procedural Environmental Sciences* 141-152.
8. Vodolazhsky A.N. Determination of the magnitude of the decrease in forest recreational resources due to anthropogenic influence / A.N. Vodolazhsky, M.T. Serikov // *Forestry Journal*. 2013. No. 4(12). P. 70-76.
9. OST 56100-95. Methods and units of measurement of recreational loads on forest

9. ОСТ 56100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dokipedia.ru/document/5327894>

10. Теодоронский В.С. О качественном и количественном аспектах оценки состояния растений в городских зеленых насаждениях / В.С. Теодоронский, Н.А. Авсиевич, В.А. Фролова, Х.Г. Якубов // Экология большого города. Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. Вып. 4. М: Прима-Пресс-М, 2000. С. 29-37.

11. Казанцев И.В. Оценка рекреационного потенциала пригородных лесов г. Самары / И.В. Казанцев, Т.Б. Матвеева // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 3(24). С. 49-52.

12. N Kartashova, M Serikov and E Kulakova The recreational and economic role of the suburban landscaped territories in Voronezh / FORESTRY-2021 of the journal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021

natural complexes [Electronic resource] – Access mode: <https://dokipedia.ru/document/5327894>

10. Teodoronsky V.S. On the qualitative and quantitative aspects of assessing the condition of plants in urban green spaces / V.S. Teodoronsky, N.A. Avsievich, V.A. Frolova, H.G. Yakubov // Ecology of a big city. The problems of maintaining green spaces in Moscow. Is. Moscow: Prima-Press-M, 2000. P. 29-37.

11. Kazantsev I.V. Assessment of the recreational potential of suburban forests in Samara / I.V. Kazantsev, T.B. Matveeva // Samara Scientific Bulletin. – 2018. Vol. 7, No. 3(24). P. 49-52.

12. N. Kartashova, M. Serikov and E. Kulakova “The recreational and economic role of suburban landscape territories in Voronezh” / FORESTRY-2021 from the conference series of the IOP journal “Earth Science and Environment 2021”.

Об авторах

Нелли Павловна Карташова, канд. с.-х. наук, доцент; ORCID: 0000-0003-2535-9557; SPIN-код: 6305-3630, AuthorID: 15925; Kartashova_73@mail.ru

Алина Владимировна Мануковская; ORCID: 0009-0006-2045-5644; SPIN-код: 2176-5568; AuthorID: 1099815; manykovskayaAV@yandex.ru

Инна Вячеславовна Голядкина, канд. с.-х. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-4532-3810; SPIN-код: 6628-5384; AuthorID: 617127; golyadkina@post.vgtu.ru

About the authors

Nelli P. Kartashova, CSs (Agro), associate professor; ORCID: 0000-0003-2535-9557, SPIN-code: 6305-3630, AuthorID: 15925; Kartashova_73@mail.ru

Alina V. Manukovskaya, ORCID: 0009-0006-2045-5644 SPIN-code: 2176-5568, AuthorID: 1099815; manykovskayaAV@yandex.ru

Inna V. Golyadkina, CSs (Agro), associate professor; ORCID: 0000-0002-4532-3810 SPIN-code: 6628-5384, AuthorID: 617127; golyadkina@post.vgtu.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Карташова Н.П., Мануковская А.В., Голядкина И.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 29.01.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.08.2025

N.P. Kartashova, A.V. Manukovskaya, I.V. Golyadkina performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-142-150>
УДК 712:911.52(470.25)



СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАГАТИНСКОЙ ПОЙМЫ

Н.Э. Оселко

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

Аннотация. В исследованиях предпринят анализ состояния природных ландшафтов на территории Нагатинской поймы г. Москвы после строительства развлекательного комплекса «Остров Мечть». Данная территория ранее выполняла важные природные функции включая поддержку биоразнообразия, регулирование микроклимата и улучшение качества воздушной среды. Строительство объекта привело к значительным изменениям в природной системе поймы, что потребовало ее оценки. В работе применены метод полевого исследования, анализ опубликованной литературы, сравнительный подход, опрос местных жителей, что позволило выполнить анализ уровня антропогенного воздействия и определить текущее состояние растительности, флоры и фауны. Полученные данные позволяют выявить основные природные изменения, произошедшие в результате урбанизированной трансформации территории. Результаты исследований могут быть использованы для разработки мероприятий по снижению негативного воздействия на природную среду и сохранению системных функций поймы в условиях городской застройки.

Ключевые слова: Нагатинская пойма, природный ландшафт, биоразнообразие, антропогенное воздействие, прибрежная природная система

Для цитирования: Оселко Н.Э. Состояние природных ландшафтов на территории Нагатинской поймы // Природообустройство. 2025. № 4. С. 142-150. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-142-150>

Original article

THE STATE OF NATURAL LANDSCAPES IN THE NAGATINSKAYA FLOODPLAIN AREA

N.E. Oselko

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

Abstract. The study analyzes the state of natural landscapes on the territory of the Nagatinskaya floodplain in Moscow after the construction of the Island of Dreams entertainment complex. The area previously performed important natural functions, including supporting biodiversity, regulating the microclimate, and improving the quality of the air environment. The construction of the facility has led to significant changes in the natural floodplain system, which required its assessment. The work uses: the field research method, the analysis of the published literature, a comparative approach, a survey of local residents, which allowed us to analyze the level of anthropogenic impact and determine the current state of vegetation, flora and fauna. The data obtained make it possible to identify the main natural changes that have occurred as a result of the urbanized transformation of the territory. The results of the study can be used to develop measures to reduce the negative impact on the natural environment and preserve the systemic functions of the floodplain in urban conditions.

Keywords: Nagatinskaya floodplain, natural landscape, biodiversity, anthropogenic impact, coastal natural system

Format of citation: Oselko N.E. The state of natural landscapes in the Nagatinskaya floodplain area // Prirodoobustroystvo. 2025. № 4. P. 142-150. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-142-150>

Введение. Современные мегаполисы постоянно сталкиваются с проблемами застройки природных территорий в условиях активной урбанизации. В Москве застройка все более активно захватывает природные ландшафты, что неизбежно влияет на рекреационную ситуацию [1, 2].

Одним из примеров значительных изменений городской природной территории стало строительство развлекательного комплекса «Остров Мечть» в Нагатинской пойме [3, 4]. Эта территория представляла собой уникальную природно-ландшафтную зону, которая ранее включала

в себя водно-болотные участки, луговые территории (заливные) с широким спектром многолетних трав, разнообразные древесные и кустарниковые насаждения, фауну с многообразием представителей животных и птиц [5-8], богатую прибрежную экосистему [9-11], которые выполняли важные защитные функции: регулирование микроклимата и очистку воздуха, поддержание биоразнообразия [12, 13]. Небольшой участок поймы в 2001 г. был внесен в реестр особо охраняемых природных территорий регионального значения [14].

Введение в эксплуатацию масштабного объекта, которое сопровождалось значительными преобразованиями ландшафта, вызвало необходимость оценки изменений природной составляющей на данной территории. Информативным анализом таких процессов являются методы полевого исследования, опубликованной литературы, сравнительного подхода и опроса местных жителей. Это позволило зафиксировать текущее состояние природной системы, выявить негативные последствия строительства и оценить степень воздействия на окружающую среду.

Цель исследований: обзор состояния ландшафтов на территории Нагатинской поймы Москвы после строительства комплекса «Остров Мечты» и их сравнение с ситуацией до строительства.

В ходе работы планировалось выполнить оценку изменений в природной среде, выявить факторы антропогенного воздействия, влияющие на системное равновесие данной территории. Полученные данные будут способствовать формированию предложений по снижению антропогенных рисков, а также разработке мер по сохранению и восстановлению природной системы

поймы и ее компонентов для оздоровления городской среды в целом.

Материалы и методы исследований. Исследования состояния ландшафтов на территории Нагатинской поймы Москвы проводились для выявления изменений природных компонентов территории в связи с реализацией проекта строительства развлекательного комплекса «Остров Мечты» (рис. 1, 2).

Для проведения исследований были использованы методы пофакторной оценки по нескольким критериям и сравнительный анализ архивных материалов по ландшафтным характеристикам Нагатинской поймы до начала строительства и после него.

1. Полевые наблюдения включили в себя визуальное обследование территории, оценку степени антропогенной нагрузки, описание растительности, флоры и фауны. Фиксировались изменения в структуре ландшафта. Определена степень деградации природных систем, а также выявлены изменения в биоразнообразии.

2. Опрос местного населения позволил выявить субъективную оценку рекреационной ситуации и реакцию местных жителей на изменение качества окружающей среды по окончании строительства комплекса.

3. Сравнительный анализ дал возможность сопоставить данные полевых исследований с архивными материалами и спутниковыми снимками для оценки динамики изменений на территории Нагатинской поймы.

4. Для сравнительного анализа на территории были выделены зоны: А –прибрежная; Б – центральная. Зонирование основано на геоморфологических особенностях (близости к руслу реки, отметок рельефа и степени увлажнения

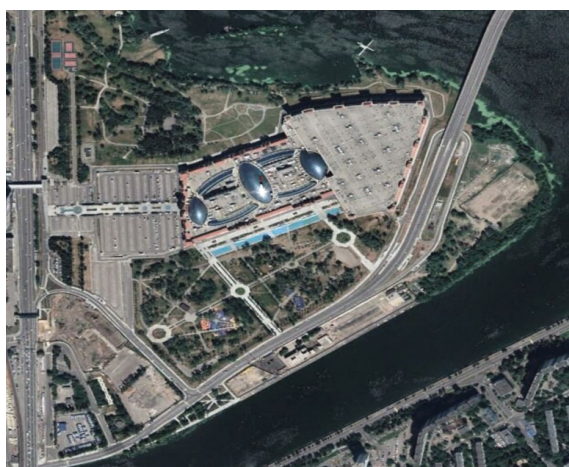


Рис. 1. Существующее положение Нагатинской поймы, 2024 г.

Fig. 1. The current situation of the Nagatinskaya floodplain, 2024



Рис. 2. Архивные аэрофотоснимки Нагатинской поймы, 2014 г.

Fig. 2. Archival aerial photographs of the Nagatinskaya floodplain, 2014

почв) и ландшафтных признаках (учет типа растительности, распределение мест обитания животных, сопоставление природных участков с зонами рекреационного освоения, транспорта и строительства, выделение зон для сохранения устойчивости экосистем и поддержания биоразнообразия).

Зоны категории А были определены как наиболее уязвимые для антропогенного воздействия, требующие строгого режима охраны, а зоны категории Б – как участки, подвергшиеся большей трансформации, но сохраняющие потенциал для восстановления экосистем.

Результаты и их обсуждение. На основе проведенных полевых исследований выявлены значительные изменения в структуре ландшафтов Нагатинской поймы, обусловленные строительством развлекательного комплекса «Остров Мечты». Анализ полученных данных позволяет выделить несколько ключевых аспектов.

Антропогенная нагрузка. Значительно увеличился транспортный поток, произошел рост шумового и светового загрязнения по причине сооружения Кожуховского моста и Проектируемого проезда № 4062, которые занимают 11,5 га; открытая автостоянка заняла 10,5 га, крытый комплекс «Остров Мечты» – 15 га. В связи с этим на территории поймы значительно сократились площади естественных древесных, кустарниковых, луговых и прибрежных природных систем, что привело к снижению видового разнообразия. Редкие виды растений, ранее встречавшиеся в пойменной зоне, исчезли, другие значительно сократили свою популяцию. Все эти факторы

могут оказывать долгосрочное негативное воздействие на рекреационный аспект.

Полевые исследования и опрос местных жителей подтвердили, что рекреационная привлекательность территории снизилась. В период с июля по август и в октябре 2024 г. была проведена серия опросов¹ жителей ближайших жилых кварталов, которые регулярно посещают территорию Нагатинской поймы для отдыха и прогулок как до строительства развлекательного комплекса «Остров Мечты», так и по его окончании. В рамках исследований 119 респондентам разного социального статуса (студенты, работающие, пенсионеры) и различного возраста (8-70 лет) были заданы вопросы о рекреационном состоянии территории, а также об их наблюдениях за животными и растительностью. (табл. 1-3). Так, были заданы следующие вопросы:

1. Как вы оцениваете рекреационное состояние Нагатинской поймы до и после строительства развлекательного комплекса «Остров Мечты»? Уточните: изменились ли качество отдыха, уровень шума, доступность зеленых зон?

2. Какие виды животных и растений вы наблюдали в Нагатинской пойме до и после строительства развлекательного комплекса «Остров Мечты»? Уточните: какие виды исчезли или появились, как изменилась их численность?

Таким образом, результаты опроса показывают, что новое строительство изменило восприятие Нагатинской поймы как зоны отдыха. Улучшение инфраструктуры оценили положительно, однако значительная часть респондентов отметила уменьшение естественных зеленых

Таблица 1. Результаты опроса. Оценка рекреационного состояния Нагатинской поймы
Table 1. Survey results. Assessment of the recreational state of the Nagatinskaya floodplain

Соотн. %	Состояние территории поймы до строительства <i>State of the floodplain area before construction</i>	Соотн. %	Состояние территории поймы после строительства <i>State of the floodplain area after construction</i>
52	Благоприятные условия для отдыха; с обилием зелени и наличием естественной природной среды <i>Favorable conditions for recreation; with an abundance of greenery and the presence of a natural environment</i>	38	Ухудшение качества отдыха из-за уменьшения естественных зеленых зон и увеличения уровня шума <i>Deterioration of the quality of recreation due to the reduction of natural green areas and increased noise levels</i>
31	Состояние территории оценивается как удовлетворительное; отмечается наличие малоухоженных участков <i>The state of the territory is assessed as satisfactory; the presence of poorly maintained areas is noted</i>	29	Оценка изменений как нейтральная; отмечается, что новая инфраструктура удобна, но природные пространства пострадали <i>The assessment of the changes is neutral; it is noted that the new infrastructure is convenient, but natural spaces have suffered</i>
17	Указывались недостатки благоустроенной инфраструктуры <i>The shortcomings of the well-maintained infrastructure were pointed out</i>	33	Удовлетворение благоустройством и новыми возможностями для отдыха <i>Satisfaction with the improvements and new opportunities for recreation</i>

Таблица 2. Результаты опроса. Оценка респондентов по наблюдаемым животным, птицам, древесным и кустарниковым растениям, травам Нагатинской поймы

Table 2. Survey results. Respondents' assessment of observed animals, birds, woody and shrubby plants, and grasses of the Nagatinskaya floodplain

Соотн. %	Состояние территории поймы до строительства <i>State of the floodplain area before construction</i>	Соотн. %	Состояние территории поймы после строительства <i>State of the floodplain area after construction</i>
47	Замечали уток, чаек, цапель (редко) и других водоплавающих птиц <i>They noticed ducks, seagulls, herons (rarely) and other waterfowl</i>	22	Заявили, что стали реже встречать водоплавающих птиц <i>They said that they began to encounter waterfowl less often</i>
34	Отмечали полевок, ежей и земноводных (лягушки, жабы) <i>Voles, hedgehogs and amphibians (frogs, toads) were noted</i>	18	Отметили снижение численности мелких животных, таких как ежи <i>A decrease in the number of small animals such as hedgehogs was noted</i>
59	Указывали на обилие деревьев и луговых растений <i>They pointed out the abundance of trees and meadow plants</i>	41	Указали на сокращение зеленых насаждений, замененных газонами и благоустроенными зонами <i>They pointed out the reduction of green spaces, which were replaced by lawns and landscaped areas</i>

Таблица 3. Результаты опроса. Оценка респондентов растительности Нагатинской поймы

Table 3. Survey results. Respondents' assessment of the vegetation of the Nagatinskaya floodplain

Состояние территории поймы до строительства <i>State of the floodplain area before construction</i>	Состояние территории поймы после строительства <i>Condition of the floodplain territory after construction</i>
Росли ковыль, тысячелистник, клевер, звербой, мать-и-мачеха, лютик и др. травы (61%). Вдоль берегов были заросли камыша и тростника (42%). Из деревьев преобладали ива, тополь, береза, рябина, формировавшие тень (57%) <i>Feather grass, yarrow, clover, St. John's wort, coltsfoot, buttercup and other herbs grew (61%). Along the banks there were thickets of reeds and reeds (42%). Of the trees, willow, poplar, birch and rowan prevailed, forming a shade (57%).</i>	Много естественных лугов и кустарниковых были удалены, заменены газонами (20%). Значительно сократились участки камыша и тростника (41%). Взамен вырубленных деревьев были высажены новые насаждения, но они пока не обеспечивают такую же тень, как прежняя растительность (39%) <i>Many natural meadows and shrubs have been removed and replaced with lawns (20%). Areas of reeds and rushes have been significantly reduced (41%). New trees have been planted to replace the cut trees, but they do not yet provide the same shade as the previous vegetation (39%).</i>

пространств и снижение биоразнообразия. Респонденты отмечали изменения в численности и видовом составе животных, птиц и растений. До строительства в пойме часто встречались такие мелкие млекопитающие, как ежи, полевки. Наблюдались земноводные: лягушки и жабы, особенно вблизи береговых участков. Замечали таких птиц, как утки-кряквы, чайки, сизые голуби, воробьи, скворцы и соловьи. После строительства численность ежей заметно сократилась, что отметили 18% опрошенных. Это жители связывают с уменьшением естественных зеленых зон. Лягушки и жабы стали встречаться реже ввиду сокращения мест для их размножения. Утиные популяции частично сохранились, но 22% респондентов отметили, что теперь птиц меньше, а их места обитания сократились. Наблюдается рост численности городских

птиц (воробьи, голуби, вороны), адаптировавшихся к измененной среде.

По мнению жителей, после строительства в Нагатинской пойме наблюдается снижение числа мелких животных и водоплавающих птиц (до 22%), произошло сокращение естественных зеленых насаждений (41% – для открытых пространств, 25% – для водной растительности). Это свидетельствует об утрате природной среды в пользу урбанизированного ландшафта.

Сопоставление полевых исследований с архивными материалами позволило выявить значительные изменения в состоянии ландшафтов на территории Нагатинской поймы, произошедшие после строительства развлекательного комплекса «Остров Мечты». Полевые исследования проводились на двух зонах: прибрежной (А) и центральной (Б). В свою очередь, они были

разбиты на 6 подзон: А1, А2, А3, А4, Б1, Б2, Б3, Б4 (рис. 3, табл. 4). Прежде территория поймы представляла собой уникальную природную зону, состоящую из пойменных лугов, болотистых участков и древесно-кустарниковых насаждений, характерных для долины Москвы-реки.



Рис. 3. Полевые исследования в зонах: прибрежной (А) и центральной (Б)

Fig. 3. Field studies in the coastal (A) and central (B) zones

Богатая растительность, флора и фауна создавали благоприятные условия для гнездования птиц, жизни насекомых и небольших млекопитающих. В ходе исследований было выявлено, что строительство привело к значительной трансформации природной системы. В первую очередь произошло сокращение биоразнообразия: многие виды животных и растений, ранее обитавших на этой территории, исчезли, или их популяции резко сократились. Численность певчих птиц, особенно соловья и синицы, сократилась по причине исчезновения кустарниковой растительности, необходимой им для укрытия и гнездования.

Градостроительные изменения повлекли за собой уменьшение площади естественных природных участков. На месте бывших природных озелененных территорий теперь располагаются благоустроенные территории с газонами, что существенно изменило состав растительности. Вместо естественных луговых трав преобладают однородные газонные травосмеси, не обеспечивающие прежнего уровня кормовой базы для насекомых, мелких позвоночных, птиц.

Антропогенная нагрузка в результате строительства значительно возросла. Основные изменения связаны с появлением крупных асфальтированных участков, с новым транспортным потоком вдоль береговой полосы через мост, ростом уровня шумового и светового загрязнения.

Таблица 4. Результаты полевого исследования в сопоставлении с архивными материалами состояния Нагатинской поймы

Table 4. Results of the field study in comparison with archival materials on the state of the Nagatinskaya floodplain

Название Name	Наличие/отсутствие на территории поймы до строительства/ после строительства +/- Presence/absence on the floodplain territory before construction/after construction +/-							
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Древесные / Woody:								
Черемуха (<i>Prunus padus</i>) / Bird cherry	-/-	+/-	-/-	+/-	+/+	+/-	+/-	+/+
Ива белая (<i>Salix alba</i>) / White willow	+/-	+/-	+/-	+/+	+/-	+/-	+/-	+/+
Ива пепельная (<i>Salix cinerea</i>) / Ash willow	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/+
Ольха серая (<i>Alnus incana</i>) / Grey alder	+/-	-/-	-/-	+/-	+/+	+/+	+/-	+/-
Тополь черный (<i>Populus nigra</i>) / Black poplar	-/-	+/-	+/-	+/-	+/+	+/+	+/+	+/-
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) / Silver birch	+/-	+/-	-/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Кустарниковые / Shrubs:								
Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i>) / Buckthorn brittle	+/-	+/-	+/-	+/+	+/+	+/+	-/-	-/-
Шиповник майский (<i>Rosa majalis</i>) / Rose hips May	-/-	-/-	-/-	-/-	+/+	+/+	-/-	+/+
Бузина красная (<i>Sambucus racemosa</i>) / Red elderberry	+/-	+/-	+/-	-/-	+/+	+/-	-/-	+/+
Жимолость лесная (<i>Lonicera xylosteum</i>) / Forest honeysuckle	-/-	+/+	+/+	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Травы / Herbs								
Луговые / Meadow:								
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i>) / Red clover	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+
Зверобой (<i>Hypericum perforatum</i>) / St. John's Wort Herb	+/-	+/+	+/+	+/-	+/+	+/-	+/-	+/+
Ромашка аптечная (<i>Matricaria chamomilla</i>) / Chamomile	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+
Тысячелистник (<i>Achillea millefolium</i>) / Yarrow	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+
Подорожник (<i>Plantago major</i>) / Plantain	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+
Травы, характерные для заболоченных участков: Grasses typical of marshy areas:								
Таволга вязолистная (<i>Filipendula ulmaria</i>) / Meadowsweet	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	-/-	+/-
Лабазник обыкновенный (<i>Filipendula vulgaris</i>) / Labaznik ordinary	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	-/-	+/-
Осока (<i>Carex</i>) / Sedge	+/+	+/+	+/+	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Камыш (<i>Scirpus</i>) / Reed	+/-	+/+	+/+	+/+	-/-	-/-	-/-	-/-
Тростник (<i>Phragmites</i>) / Cane	+/-	+/+	+/+	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Вербейник обыкновенный (<i>Lysimachia vulgaris</i>) / Common loosestrife	-/-	+/+	+/+	+/+	+/-	-/-	-/-	-/-
Рдест (<i>Potamogeton</i>) / Pondweed	-/-	+/+	+/+	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Кубышка желтая (<i>Nuphar lutea</i>) / Yellow water lily	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Кувшинка белая (<i>Nymphaea alba</i>) / White water lily	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Птицы / Birds								
Луговые и кустарниковые / Meadow and shrub:								
Обыкновенный соловей (<i>Luscinia luscinia</i>) / Common Nightingale	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Луговой чекан (<i>Saxicola rubetra</i>) / Meadow whinchat	+/-	+/+	+/-	-/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Жаворонок (<i>Alauda arvensis</i>) / Lark	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Камышевка-барсучок (<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>) / Badger Warbler	+/-	+/+	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Пеночка-теньковка (<i>Phylloscopus collybita</i>) / Chiffchaff	+/-	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Лесные и опушечные / Forest and forest edge:								
Зяблик (<i>Fringilla coelebs</i>) / Finch	+/-	+/+	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Певчий дрозд (<i>Turdus philomelos</i>) / Song Thrush	+/-	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Зеленый дятел (<i>Picus viridis</i>) / Green Woodpecker	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Большая синица (<i>Parus major</i>) / Great tit	+/+	+/+	+/-	+/+	+/-	+/-	-/-	+/-
Московка (<i>Periparus ater</i>) / Coalmouse	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Длиннохвостая синица (<i>Aegithalos caudatus</i>) / Long-tailed tit	+/+	+/-	+/+	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-
Водоплавающие и околоводные / Waterfowl and semi-aquatic:								
Кряква (<i>Anas platyrhynchos</i>) / Mallard	-/-	+/+	+/+	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Чомга (<i>Podiceps cristatus</i>) / Great Crested Grebe	-/-	+/+	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Лысуха (<i>Fulica atra</i>) / Coot	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Серая цапля (<i>Ardea cinerea</i>) / Grey Heron	-/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Камышница (<i>Gallinula chloropus</i>) / Moorhen	-/-	+/+	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Озерная чайка (<i>Chroicocephalus ridibundus</i>) / Black-headed gull	+/+	+/+	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Хохлатая чернеть (<i>Aythya fuligula</i>) / Tufted duck	+/+	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Коростель (<i>Crex crex</i>) / Landrail	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Хищные / Predatory:								
Канюк (<i>Buteo buteo</i>) / Buzzard	-/-	+/-	-/-	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Ястреб-перепелятник (<i>Accipiter nisus</i>) / Sparrowhawk	-/-	+/-	-/-	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Сыч домовый (<i>Athene noctua</i>) / Little Owl	+/-	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Ястреб-тетеревятник (<i>Astur gentilis</i>) / Goshawk	-/-	+/-	-/-	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Пустельга обыкновенная (<i>Falco tinnunculus</i>) / Common Kestrel	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Млекопитающие насекомоядные / Insectivorous mammals:								
Еж (<i>Erinaceus europaeus</i>) / Hedgehog	-/-	+/+	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Крот (<i>Talpa europaea</i>) / Mole	-/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Грызуны / Rodents:								
Бобр речной (<i>Castor fiber</i>) / River beaver	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Ондатра (<i>Ondatra zibethicus</i>) / Muskrat	-/-	+/-	+/-	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-
Обыкновенная полевка (<i>Microtus arvalis</i>) / Common vole	+/-	+/+	+/+	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Лесная мышь (<i>Apodemus sylvaticus</i>) / Wood mouse	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Водяная полевка (<i>Arvicola amphibius</i>) / Water vole	-/-	+/+	+/-	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-
Хищные / Predatory:								
Ласка (<i>Mustela nivalis</i>) / Weasel	-/-	+/-	-/-	-/-	+/-	+/-	-/-	-/-
Земноводные / Amphibians:								
Травяная лягушка (<i>Rana temporaria</i>) / Grass frog	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	-/-	+/-
Обыкновенный тритон (<i>Lissotriton vulgaris</i>) / Common newt	-/-	+/+	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Насекомые / Insects:								
Адмирал (<i>Vanessa atalanta</i>) / Admiral	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+	+/-	+/-	+/-
Павлиний глаз (<i>Aglais io</i>) / Peacock eye	+/+	++	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-
Махаон (<i>Papilio machaon</i>) / Swallowtail	+/-	+/-	+/-	+/-	+/+	+/+	+/-	+/-
Голубянка (<i>Polyommatus icarus</i>) / Blue butterfly	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+
Репейница (<i>Vanessa cardui</i>) / Painted lady	+/+	+/+	+/-	+/-	+/+	+/-	+/+	+/+
Шмель полевой (<i>Bombus terrestris</i>) / Field bumblebee	+/-	+/+	+/-	+/-	+/+	+/+	+/-	+/-
Пчелы (<i>Apis mellifera</i>, <i>Osmia bicornis</i>) / Bees	+/-	+/+	+/-	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-
Коромысло синее (<i>Aeshna cyanea</i>) / Blue rock	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/-	+/+
Стрелка-девушка (<i>Calopteryx splendens</i>) / Arrow-girl	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/-	+/-	+/+

Примечание: Данные по флоре и фауне собраны автором и дополнены публикациями [7, 8].

Note: The data on flora and fauna were collected by the author and supplemented by publications [7, 8].

Ввиду освещения территории в ночное время изменилась активность ночных животных, ранее использовавших пойму как охотничьи угодья. Наблюдается снижение численности насекомых-опылителей, что в свою очередь сказывается на природных процессах, связанных с опылением растений.

Сравнительный анализ полевых исследований с архивными материалами показывает, что до начала строительства ландшафты Нагатинской поймы находились в относительно стабильном состоянии несмотря на антропогенное влияние в виде рекреационной нагрузки¹ и близости существующих транспортных магистралей. Биоразнообразие оставалось на высоком уровне, что свидетельствовало о способности природной системы к саморегуляции. Однако после начала

активных строительных работ баланс природных сообществ был нарушен, что привело к деградации системных связей.

Выводы

Исследования показывают, что строительство «Острова Мечты» оказало значительное негативное влияние на состояние ландшафтов в Нагатинской пойме. Утрата естественных природных систем, сокращение биоразнообразия и усиление антропогенного давления представляют серьезные проблемы. Вместе с тем своевременные меры по восстановлению и охране природной среды могут частично компенсировать негативные последствия, способствуя сохранению природного наследия пойменных территорий Москвы.

Рекомендуется усилить меры по восстановлению систем территории Нагатинской поймы, в частности:

– восстановить луговые и прибрежные биоценозы за счет высадки местных видов

растений (клевер луговой, зверобой, таволга, камыш, тростник), отказавшись от преимущественного использования газонных травосмесей (зоны А, Б);

– воссоздать кустарниковые и древесные защитные полосы (ива, рябина, черемуха, шиповник), необходимые для гнездования птиц и укрытий мелких животных (зона Б);

– провести частичную рекультивацию прибрежных участков для восстановления мест размножения земноводных и водоплавающих птиц (зона А);

– создать буферные зоны покоя (зона Б) с ограничением доступа в уязвимые участки зоны А;

– ввести регламент посещения и маршрутизацию прогулочных троп, чтобы снизить

вытаптывание растительности и уровень беспокойства животных (зоны А, Б);

– организовать систематическое наблюдение за флорой и фауной (ежегодный учет птиц, мониторинг численности опылителей, контроль водной растительности) (зоны А, Б);

– реализовать просветительские меры (информационные стенды, просветительские программы), формирующие ответственное поведение посетителей (зоны А, Б);

Реализация данных мер позволит сохранить природные функции Нагатинской поймы, стабилизировать экосистемные связи и обеспечить устойчивое развитие территории в условиях нарастающей урбанизации.

Список использованных источников

1. Оселко Н.Э. Планировочное развитие приречной территории крупнейшего столичного города. Дисс. ... кандидата архитектуры. М.: МАРХИ, 2001.
2. Санин А.Ю. К вопросу об антропогенной трансформации прибрежных зон рек Москвы // Географическая среда и живые системы. 2021. EDN: BKNTX. <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-antropogennoy-transformatsii-pribrezhnyh-zon-rek-moskvy>
3. Оселко Н.Э. Динамика градостроительного развития Нагатинской поймы Москвы. // Градостроительство. 2020. № 2 (66). С. 49-54. EDN: ZDQUAM
4. Александрова О. Нагатинская пойма: сохранить душу природы... // Newsinfo.ru. 27.09.2006. <https://www.newsinfo.ru/articles/2006-09-27/item/534017/>
5. Завадский А.С. Природные территориальные комплексы поймы р. Москвы в нижнем течении в условиях интенсивного хозяйственного использования / А.С. Завадский, В.В. Сурков, А.В. Чернов, Д.В. Ботавин, П.П. Головлёв // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. <https://cyberleninka.ru/article/n/prirodnye-territorialnye-kompleksy-poymy-r-moskvy-v-nizhnem-techenii-v-usloviyah-intensivnogo-hozyaystvennogo-ispolzovaniya>
6. Красная Книга города Москвы. 2-е изд. / Отв. ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. М.: 2011. С. 927.
7. Калякин М.В. (ред.). Птицы Нагатинской поймы (квадрат Н-9) в сборнике Птицы Москвы: 2010 год, квадрат за квадратом / М.В. Калякин, О.В. Волцит., // Серия: Труды программы «Птицы Москвы и Подмосковья». М.: КМК Москва. 2011. Том 7. С. 204-208. <http://xn--8sbc0adaan4bqp3c3a2b.xn-p1ai/site/Stat-i-o-pticah/Nauchnye-stat-i/Po-avtoram/Polezhankina-P.G/2011/Pticy-Nagatinskoj-pojmy-kvadrat-N-9>
8. Волцит О.В. Фауна и население птиц Европейской России. // Ежегодник Программы «Птицы Москвы и Подмосковья». Вып. 14. Под ред. О.В. Волцит, П.Г. Полежакина. М.: КМК Scientific Press, 2024. С. 244.
9. Пчелкина Т.А. Формирование биоты на островах акваторий мегаполиса Москвы / Т.А. Пчелкина, А.Е. Кухта, А.В. Пчелкин // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2013. <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-bioty-na-ostrovah-akvatoriy-megapolisa-moskvy>

References

1. Oselko N.E. Planning development of the riverine territory of the largest metropolitan city. Diss. ...Candidate of Architecture. Moscow: MARKHi, 2001. EDN: BKNTXL
2. Sanin A.Yu. On the issue of anthropogenic transformation of the coastal zones of the rivers of Moscow // Geographical environment and living systems. 2021.
3. Oselko N.E. The dynamics of urban development of the Nagatinskaya floodplain of Moscow. // Urban planning. 2020. No. 2 (66). P. 49-54. EDN: ZDQUAM
4. Alexandrova O. Nagatinskaya floodplain: to preserve the soul of nature.. // Newsinfo.ru. 27.09.2006. <https://www.newsinfo.ru/articles/2006-09-27/item/534017/>
5. Zavadsky A.S. Natural territorial complexes of the Moscow River floodplain in the lower reaches under conditions of intensive economic use / A.S. Zavadsky, V.V. Surkov, A.V. Chernov, D.V. Botavin, P.P. Golovlev // Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography. 2020. <https://cyberleninka.ru/article/n/prirodnye-territorialnye-kompleksy-poymy-r-moskvy-v-nizhnem-techenii-v-usloviyah-intensivnogo-hozyaystvennogo-ispolzovaniya>
6. The Red Book of the city of Moscow. 2nd ed. // Edited by B.L. Samoilov, G.V. Morozova. M., 2011, p. 927.
7. Kalyakin M.V., Voltsit O.V. (ed.). Birds of the Nagatinskaya floodplain (square N-9) in the collection Birds of Moscow: 2010, square by square // Series: Proceedings of the program "Birds of Moscow and the Moscow region". M.: KMK Moscow. 2011. Volume 7. P. 204-208. <http://xn--8sbc0adaan4bqp3c3a2b.xn-p1ai/site/Stat-i-o-pticah/Nauchnye-stat-i/Po-avtoram/Polezhankina-P.G/2011/Pticy-Nagatinskoj-pojmy-kvadrat-N-9>
8. Voltsit O.V., Polezhankina P.G. Fauna and bird population of European Russia. // Yearbook of the Program "Birds of Moscow and the Moscow region". Issue. 14. Edited by O.V. Voltsit, M.V. Kalyakin. M.: KMK Scientific Press, 2024. 244. p.
9. Pchelkina T.A., Kukhta A.E., Pchelkin A.V. Formation of biota on the islands of the waters of the Moscow metropolis. Society. Environment. Development (Terra Humana). 2013.
10. The Nature of Moscow /Ed. by L.P. Rysin. M.: Bioinformservice, 1998, 256 p.

10. Природа Москвы / Отв. ред. Л.П. Рысин. М.: Биоинформсервис. 1998. С. 256. <https://www.socialcompas.com/2017/12/05/relef-reki-luga-i-bolota-moskvy/>

11. Ефимов М.Б. Природа Южного округа Москвы / М.Б. Ефимов, Ю.А. Насимович, Б.Б. Шкурский // ВНИИ охраны природы. М. 1999. С. 67. Библиогр. 32 назв. – Рук. деп. в ВИНТИ 25.06.1999. N2030-B99. <http://temnyjles.ru/Moskva/Ug-okrug.shtml>

12. Иванов А.Н. Охраняемые природные территории: учеб. пособие /А.Н. Иванов В.П. Чижова. М.: Географический факультет МГУ. 2010. С. 184. http://media.geogr.msu.ru/Library/Books/ivanovAN_chizhova_2010_okhranyaemye_prirodnye_territorii.pdf

13. Кузьмина Ж.В. Антропогенное изменение пойменных экосистем и их охрана // Использование и охрана природных ресурсов в России / Ж.В. Кузьмина, С.Е. Трешкин. М.: НИА-Природа. 2010. 5 (113). С. 58-64. <file:///C:/Users/rubin/Downloads/2010-Kuzmina-Ispolovanie-2010-N-5113-Pp-58-64.pdf>

14. Постановление от 22 ноября 2022 года N2565-ПП Об утверждении Положения об особо охраняемой природной территории регионального значения «Экологический парк «Участок Нагатинской поймы реки Москвы». <https://www.mos.ru/upload/documents/files/Nagatinskayapoima.pdf>

Об авторе

Нинель Эдуардовна Оселко, доцент, канд. архитектуры. <https://orcid.org/0000-0002-9951-5439>; design.alpha@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 05.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 18.08.2025

11. Efimov M.B., Nasimovich Yu.A., Shkursky B.B. The nature of the Southern District of Moscow // All-Russian Research Institute of Nature Conservation. M. 1999. 67 p. Bibliogr. 32 titles. – Hand. dept. in VINITI on 06/25/1999. N2030-B99. <http://temnyjles.ru/Moskva/Ug-okrug.shtml>

12. Ivanov A.N., Chizhova V.P. Protected natural territories: textbook. M.: Geographical faculty of Moscow State University. 2010. 184 p. http://media.geogr.msu.ru/Library/Books/ivanovAN_chizhova_2010_okhranyaemye_prirodnye_territorii.pdf

13. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E. Anthropogenic change of floodplain ecosystems and their protection // Use and protection of natural resources in Russia. M.: NIA-Priroda. 2010. 5 (113). P. 58-64. <file:///C:/Users/rubin/Downloads/2010-Kuzmina-Ispolovanie-2010-N-5113-Pp-58-64PDF>

14. Resolution, No. 2565-PP dated November 22, 2022 On Approval of the Regulations on the Specially Protected Natural Territory of Regional Significance "Ecological Park "Section of the Nagatinskaya Floodplain of the Moskva River. <https://www.mos.ru/upload/documents/files/Nagatinskayapoima.pdf>

About the authors

Ninel Ed. Oselko, CSs (Archit), Associate Professor. <https://orcid.org/0000-0002-9951-5439>; design.alpha@yandex.ru

Oselko N.Eg. 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.