

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

1' 2024

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

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



ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

1' 2024

Учредитель и издатель:**ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева**Адрес учредителя и издателя:
127434, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-58566 от 14 июля 2014 г.**Журнал включен в перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ
для публикации трудов соискателей
ученых степеней кандидата и доктора наук
**Издание включено в систему РИНЦ,
CrossRef, AGRIS (Agricultural
Research Information System),
КиберЛенинка (Open Science)**Полнотекстовые версии доступны на сайте
<http://elibrary.ru>
<https://environment.timacad.ru/jour>Редактор *В.И. Марковская*
Компьютерный набор и верстка –
А.С. Лаврова
Перевод на английский язык –
В.Г. Рябчикова
Ответственный за выпуск –
*Н.Я. Филатова*Адрес редакции: 127434, Москва,
Прияшниковая ул., 14, строение 7-7А
Тел.: 8 (499) 976-36-67
Email: pririodamgur@mail.ru
Сайт: environment.elpub.ruОтпечатано в типографии
ООО «Офсет Принт»
127550, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 39, корп. 1
Тел: 8 (499) 976-24-85,
8 (916) 503-02-43Подписано в печать 14.03.24 г.
Формат 60 84/8, Тираж 500 экз.При использовании
материалов журнала в любой форме
ссылка на журнал обязательна.© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2024**Главный научный редактор****Журавлева Л.А.**, д-р техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Заместитель научного редактора****Бенин Д.М.**, канд. техн. наук, доцент, член-кор.
Российской академии водохозяйственных наук
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Члены редакционного совета****Алексеев А.С.**, д-р. геогр. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет имени С.М. Кирова,
(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)**Балабанов В.И.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Безбородов Ю.Г.**, д-р. техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Брянская Ю.В.**, д-р. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (г. Москва, Российская Федерация)**Волосухин В.А.**, д-р. техн. наук, профессор
Академия безопасности гидротехнических сооружений
(г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Дубенок Н.Н.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Исмайлов Г.Х.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Кентбаев Е.Ж.**, д-р. с.-х. наук, профессор, Академик КазНАЕН
НАО «Казахский национальный исследовательский университет»
(г. Алматы, Республика Казахстан)**Кирейчева Л.В.**, д-р. техн. наук, профессор
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**Косиченко Ю.М.**, д. техн. наук, профессор
ФГБНУ РосНИИПМ (г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Лисичкин С.Е.**, д-р. техн. наук, с.н.с.
Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (Москва, Российская Федерация)**Лихацевич А.П.**, д-р. техн. наук, член-кор. Академии Наук Белоруссии
Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»
(г. Минск, Республика Беларусь)**Матвеев С.М.**, д-р. биол. наук, профессор
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова
(г. Воронеж, Российская Федерация)**Михеев П.А.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Ольгаренко Г.В.**, д-р. с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения
и сельхозводоснабжения Радуга (г. Коломна, Российская Федерация)**Попов И.И.**, PhD, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Пчелкин В.В.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Раткович Л.Д.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Рубин О.Д.**, д-р. техн. наук, с.н.с.
АО «Институт Гидропроект» (Москва, Российская Федерация)**Ханов Н.В.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Хлюстов В.К.**, д-р. с.-х. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Худаев И.Ж.**, канд. техн. наук., доцент
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(г. Ташкент, Узбекистан)**Шевченко В.А.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**ПОДПИСКА:**электронный каталог «Пресса России» <https://www.pressa-ru.ru/cat/1/edition/t80746/>**Цена подписная**



ISSN 1997-6011

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

1' 2024

Founder and Publisher:**Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy**Address of Founder and Publisher:
49, Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian FederationThe journal is registered
by the Federal service for supervision
of communications, information technology
and mass media**Certificate of registration
PI No FS 77-58566 dated July 14, 2014**The journal is included in the list of publications
recommended by Higher Attestation Commission
of the Russian Federation for publishing papers
of those seeking PhD and DSc scientific degrees
**The issue is listed in the Russian Science
Citation Index, CrossRef,
AGRIS (Agricultural Research Information System),
Kiberleninka (Open Science)**Full versions are posted on the site
<http://elibrary.ru>
<https://environment.timacad.ru/jour>Editor *V.I. Markovskaya*Computer typesetting and makeup –
*A.S. Lavrova*Translation into English – *V.G. Ryabchikova*
Responsible for the issue of the journal –
*N.Ya. Filatova*Address of the editorial office:
building 7-7A, Pryanishnikova str., 14,
Moscow, 127434, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 976-36-67
Email: prirodamgup@mail.ru
Website : environment.elpub.ruPrinted in typography
OOO "Offset Print"
127550, Moscow,
Dmitrovskoe shosse, 39, building 1
Tel.: +7 (499) 976-24-85,
+7 (916) 503-02-43Signed for print 14.03.24
Format 60 84/8, Circulation 500When using the materials of the journal
in any form reference to the journal is obligatory.© Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2024**Scientific editor-in-chief****Larisa A. Zhuravleva**, DSci. (Eng), Associate Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Deputy scientific editor-in-chief****Dmitry M. Benin**, CSci. (Eng), Associate Professor, Corresponding Member
of the Russian Academy of Hydro Economic Sciences
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Members of the Editorial Board****Alexander S. Alekseev**, DSci. (Geogr), Professor
St. Petersburg state university named after S.M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)**Victor I. Balabanov**, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Yury G. Bezborodov**, DSci. (Eng), Associate Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Yuliya V. Bryanskaya**, DSci. (Eng), Associate Professor
"National Research Moscow State University of Civil Engineering" (Moscow, Russian Federation)**Victor A. Volosukhin**, DSci. (Eng), Professor
Academy of safety of hydraulic structures (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)**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

Хаджиди А.Е., Новиков А.Е., Буханиф И.

К вопросу повышения водообеспеченности Верхне-кубанской оросительной системы Краснодарского края6

Михеева О.В., Кравчук А.В., Орлова С.С., Миркина Е.Н., Панкова Т.А.

Методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов с земляным руслом12

Павлов М.В., Карпов Д.Ф.

Решение краевой задачи тепломассопереноса методом конечного интегрального преобразования Фурье для условий лучистого обогрева почвы18

Искричев Д.С., Безбородов Ю.Г., Редников С.Н.

Оценка загрязнения почв и грунтовых вод малой реки Локнаш в Московской области25

Загоруйко М.Г., Бельшклина М.Е., Попова Н.П., Кобозева Т.П.

Влияние предполивного порога влажности почвы на продуктивность и кормовую ценность сои на мелиорированных землях32

Гидротехническое строительство

Бандурин М.А., Волосухин В.А., Руденко А.А., Романова А.С.

Особенности применения комбинированных технологий при проведении мониторинга Симферопольского водохранилища42

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

Расчеты напряженно-деформированного состояния сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС49

Варламова Т.В., Ксенофонтова Т.К.

Угловые подпорные стены с вертикальными консолями в виде оболочек и складок57

Хасанов М.М., Созаев А.А., Курбанов С.О., Алкассир Ф.

К расчету конструкции двухступенчатого перепада на упругом основании66

Гидравлика и инженерная гидрология

Банщикова Л.С.

Наводнения периода ледовых явлений на реках Северо-Западного федерального округа74

Мустафаев Ж.С., Абдешев К.Б., Турсынбаев Н.А.

Влияние изменения климата на формирование границ природных зон на водосборах бассейна реки Асса-Талас82

Глазунова И.В., Кабтул Хала, Редников С.Н., Соколова С.А.

Использование водных ресурсов в бассейне реки Барада91

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

Сулейманов Т.И., Тахмазов Т.М.

Оценка начального развития лесопарковых зон, создаваемых на урбанизированных территориях99

Малиновских А.А., Гефке И.В., Савин М.А., Чичкарев А.С.

Таксационная характеристика особенностей лесного фонда Барнаульского лесничества Алтайского края104

Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю.

Влияние стимуляторов на рост и развитие двулетних сеянцев кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)115

Соломенцева А.С., Крючков С.Н., Егоров С.А.

Влияние гуминового удобрения на рост и развитие гибридов *Ulmus pumila* L.122

Крекова Я.А., Кердяшкин А.В., Вибе Е.П.

Эколого-фитоценологическая оценка состояния саксауловых лесов Северных Кызылकुмов130

Проездов П.Н., Есков Д.В., Розанов А.В., Свиридов С.В.

Закономерности роста *Larix sibirica* в противоэрозионных лесных полосах на южном черноземе137

Сообщение144

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

Khadzhibi A.E. , Novikov A.E. , Boukhanef I.

On the issue of increasing the water availability of the upper Kuban irrigation system of the Krasnodar territory7

Mikheeva O.V., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mirkina E.N., Pankova T.A.

Methodology of influence of free porosity and water loss on the processes occurring in the soils of irrigation channel with an earth bed.....12

Pavlov M.V., Karpov D.F.

Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer using the fourier method of finite integral transform for radiant soil heating conditions.....18

Iskrichev D.S., Bezborodov Yu.G., Rednikov S.N.

Assessment of soil and groundwater pollution of the small Loknash river in the Moscow region25

Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E. , Popova N.P., Kobozeva T.P.

Influence of the pre-irrigation threshold of soil moisture on the productivity and feed value of soybeans on reclaimed lands32

Hydraulic engineering construction

Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., Romanova A.S.

Features of the use of combined technologies in conducting monitoring of the Simferopol reservoir.....42

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

Calculations of the stress-strain state of the conjugation of the concrete and rock-fill dams of the Boguchanskaya HPP49

Varlamova T.V., Ksenofontova T.K.

Corner retaining walls with vertical consoles in the form of shells and folds57

Khasanov M.M., Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Fayezev A.

On the design of the structure of a two-stage differential on an elastic base66

Hydraulics and engineering hydrology

Banshchikova L.S.

Floods of the ice phenomena period on the rivers of the North-Western federal district74

Mustafayev Zh.S. , Abdeshhev K.B. , Tursynbayev N.A.

Influence of climate change on the formation of the boundaries of natural zones in the watersheds of the Assa-Talas river basin82

Glazunova I.V., Kabtoul Hala, Rednikov S.N., Sokolova S.A.

Use of water resources in the Barada basin91

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

Suleymanov T.I., Tahmazov T.M.

Assessment of the initial development of forest park zones created in urbanized areas.....99

Malinovskikh A.A., Gefke I.V., Savin M.A., Chichkarev A.S.

Taxation characteristics of the features of the forest fund of the Barnaul forestry of the Altai territory 104

Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu.

Influence of stimulants on the growth and development of biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) 115

Solomentseva A.S., Kryuchkov S.N., Egorov S.A.

Effect of humic fertilizer on the growth and development of *Ulmus pumila* L. hybrids 122

Krekova Ya.A., Kerdyashkin A.V., Vibe E.P.

Ecological and phytocoenotic assessment of the state of saxaul forests of Northern Kyzylkums 130

Proezdov P.N. , Eskov D.V., Rozanov A.V., Sviridov S.V.

Regularities of the growth of *Larix sibirica* in anti-erosion forest strips on the southern chernozem..... 137

Message 144

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-6-11>

УДК 631.6: 626.8



К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕРХНЕ-КУБАНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

А.Е. Хаджиди¹✉, А.Е. Новиков^{2,3}, И. Буханиф¹

¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»; 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9, Россия

³ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»; 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, Россия

Аннотация. Эффективность использования орошаемых земель и получение проектных урожаев сельскохозяйственных культур связаны с техническим состоянием ГТС мелиоративного комплекса, обеспечивающих управление расходами стока паводков и заборами воды на орошение, которое по различным экспертным оценкам характеризуется удовлетворительным и неудовлетворительным для большинства сооружений. Цель исследований заключалась в разработке мероприятий по повышению водообеспеченности Верхне-Кубанской оросительной системы Краснодарского края путем реконструкции гидроузла на Новокубанском канале. Проведен анализ многолетних данных по стоку р. Кубань, выполнены обследование и топографические изыскания гидроузла Новокубанского канала. По результатам исследований отмечено, что в 2022 г. при годовом плане подачи воды потребителям 12,12 млн м³ фактический водозабор составил 5,87 млн м³, из них на орошение – 5,28 млн м³, а из 8,32 тыс. га орошаемых земель было полито всего 3,31 тыс. га. Установлено, что затворы водорегулирующего сооружения находятся в неисправном состоянии, ввиду чего канал при паводках несет непроизводительные расходы, а аварийный сброс создает подпоры в русле канала, провоцируя возникновение чрезвычайных ситуаций. Разработан план мероприятий по реконструкции гидроузла, включающий в себя строительство железобетонного водоприемника с устройством шлюзов-регуляторов с плоскими затворами на основном русле канала и сбросном канале с заменой водопропускных труб. Данные ремонтно-восстановительные работы будут способствовать повышению безопасности эксплуатации Новокубанского канала и водообеспеченности Верхне-Кубанской оросительной системы, вовлечению в оборот существующих и введению новых орошаемых земель, расширению структуры посевов высококоротельных сельскохозяйственных культур, отзывчивых на орошение.

Ключевые слова: водообеспеченность, орошение, паводок, сток, оросительная система, реконструкция, водозаборное устройство

Формат цитирования: Хаджиди А.Е., Новиков А.Е., Буханиф И. К вопросу повышения водообеспеченности Верхне-Кубанской оросительной системы Краснодарского края // Природообустройство. 2024. № 1. С. 6-11. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-6-11>

Original article

ON THE ISSUE OF INCREASING THE WATER AVAILABILITY OF THE UPPER KUBAN IRRIGATION SYSTEM OF THE KRASNODAR TERRITORY

A.E. Khadzhidi^{1✉}, A.E. Novikov^{2,3}, I. Boukhanef¹¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; 350044, Krasnodar, Kalinina St. 13, Russia² Federal State Budgetary Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture"; 400002, Volgograd, Timiryazev St. 9, Russia³ Volgograd State Technical University; 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28, Russia

Abstract. The efficiency of the use of irrigated lands and the receipt of project yields of agricultural crops is associated with the technical condition of the GTS of the reclamation complex, which ensures the management of flood runoff and water intake for irrigation, which, according to various expert estimates, is characterized as satisfactory and unsatisfactory for most structures. The purpose of the study was to develop measures to improve the water supply of the Upper Kuban irrigation system of the Krasnodar Territory by reconstructing the hydroelectric complex on the Novokuban Canal. The analysis of long-term data on the runoff of the river. Kuban and carried out survey and topographic surveys of the Novokuban canal hydroelectric complex. According to the results of the study, it was noted that in 2022, with an annual plan for the supply of water to consumers of 12.12 million cub. meters, the actual water withdrawal amounted to 5.87 million cub. meters, of which 5.28 million cub. meters were used for irrigation, and out of 8.32 thousand hectares of irrigated land, only 3.31 thousand hectares were irrigated. It has been established that the gates of the water control facility are out of order, due to which the canal incurs unproductive expenses during floods, and an emergency discharge creates backwater in the canal bed, which creates emergency situations. An action plan has been developed for the reconstruction of the hydroelectric complex, including the construction of a reinforced concrete water intake with the installation of sluice-regulators with flat gates on the main channel of the canal and the discharge channel with the replacement of culverts. These repair and restoration works will improve the safety of the operation of the Novokuban Canal and the water supply of the Upper Kuban irrigation system, the involvement of existing and the introduction of new irrigated lands, and the expansion of the sowing structure of highly profitable agricultural crops that are responsive to irrigation.

Keywords: water supply, irrigation, flood, runoff, irrigation system, reconstruction, water intake device

Format of citation: Khadzhidi A.E., Novikov A.E., Boukhanef I. On the issue of increasing the water supply of the Upper Kuban irrigation system of the Krasnodar Territory // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 6-11. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-6-11>

Введение. В развитии агропромышленного комплекса и обеспечении устойчивого производства продовольствия сохранение и рациональное использование земельных и водных ресурсов имеют первостепенное значение. Однако условия интенсивного земле- и водопользования, изменяющегося климата и другие факторы спровоцировали процессы деградации почвы, эвтрофирования и снижения водности гидроэкосистем [1, 2]. Особенно остро проблема водообеспеченности агропромышленного производства стоит в Краснодарском крае, где основную долю водного фонда мелиоративно-водохозяйственного комплекса составляют малые водотоки, а также системы территориального перераспределения и регулирования стока [3-5]. Так, Новокубанский канал Верхне-Кубанской оросительной системы служит основным источником орошения для мелиорированных земель Гулькевичского района. Однако подавляющая часть гидротехнических

сооружений (ГТС) на ней построена в 60-е гг. прошлого столетия и ввиду отсутствия регулярного обслуживания не работает на полную мощность. Повышение водообеспеченности рассматриваемого района, а соответственно и расширение площади орошаемых земель возможны за счет реконструкции оросительной системы и реализации мероприятий по управлению стоком [6-9].

Цель исследований: разработка мероприятий по повышению водообеспеченности Верхне-Кубанской оросительной системы Краснодарского края путем проведения реконструкции гидроузла на Новокубанском канале.

Материалы и методы исследований. Новокубанский канал протяженностью почти 73 км построен в 1954 г., проходит вдоль левого берега р. Кубань по территории землепользования хозяйств Новокубанского и Гулькевичского районов (рис. 1). Его гидравлические характеристики приведены в таблице. Канал, помимо

подачи воды на орошение, также используется для аварийного сброса воды из р. Кубань при катастрофических паводках [10].

Водозабор из р. Кубань расположен у х. Красная Поляна (г. Армавир) примерно в 25 км от г. Гулькевичи и осуществляется бесплотинным способом с устройством захватной дамбы. Холостая подводящая часть канала подвергается сильному заилению. Ее чистку производят дважды в год, а иногда и после каждого паводка на р. Кубань.

В 660 м от водозабора находится головное сооружение, состоящее из 5 пролетов с плоскими затворами. Его состояние оценивается как неудовлетворительное, затворы в голове не работают, ввиду чего канал в зимний и осенний периоды при паводках несет непроизводительные расходы. Канал проходит в земляном трапецидальном русле, которое за время эксплуатации деформировалось, а на отдельных участках размылось. Ширина канала по дну составляет 6,0 м, глубина – 2,0 м.

Результаты и их обсуждение. Сток р. Кубань в течение года происходит неравномерно (рис. 2), минимальное значение составляет 2,47 млн м³ в феврале, а далее постепенно

увеличивается, достигая максимума 5,66 млн м³ в июне. Однако с учетом летней засухи, потери воды на фильтрацию и испарение, неудовлетворительного состояния ГТС Верхне-Кубанской оросительной системы этого объема недостаточно для поддержания заданного режима орошения при возделывании сельскохозяйственных культур, а расширение площади орошаемых земель по причине дефицита воды возможно только после реализации мероприятий по повышению водообеспеченности [11-13]. В частности, площадь орошаемых земель, обслуживаемых Верхне-Кубанской оросительной системой, составляет 8319 га, из них в 2022 г. поливалось не более 40% (3312 га). При плановом годовом заборе воды 15,15 млн м³, из них потребителям – 12,12 млн м³, фактические значения составили соответственно 7,34 и 5,87 млн м³, а на орошение – 5,28 млн м³. В структуре посевных площадей на орошаемых землях зерновые занимали 7,03 тыс. га, овощные – 0,264 тыс. га, прочие – 1,025 тыс. га. Эти данные статистических наблюдений подтверждают наличие проблемы, связанной с водообеспечением территории землепользования Новокубанского и Гулькевичского районов.

В целях управления расходами паводка и забором воды на орошение Новокубанский



Рис. 1. Схема расположения Новокубанского канала

Fig. 1. Layout of the Novokuban Canal

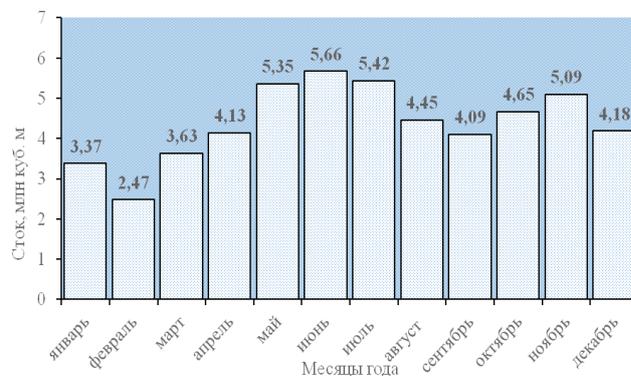


Рис. 2. Среднегодовое распределение стока

Fig. 2. Average annual flow distribution

Таблица. Гидравлические характеристики Новокубанского канала

Table. Hydraulic characteristics of the Novokuban Canal

Наименование показателя <i>Name of indicator</i>	Значение показателя <i>Indicator value</i>
Среднеголетний расход воды, м ³ /с / <i>Average long-term water consumption, m kub./s</i>	2,01
Минимальный среднемесячный расход воды в летний/зимний период, м ³ /с <i>Minimum average monthly water consumption in summer/winter, m kub./s</i>	1,60 / 1,30
Скорость воды в канале, м/с / <i>Water velocity in the channel, m/s</i>	0,26-0,35
Уклон канала / <i>Channel slope</i>	0,001-0,002
Сезонное колебание расходов воды, м ³ /с <i>Seasonal fluctuation of water consumption, m kub./s</i>	0,1-1,3
Максимальная пропускная способность, м ³ /с / <i>Maximum throughput, m kub./s</i>	11,2

канал оснащен гидроузлом. Выполнив его обследование и топографические изыскания имеющихся на нем сооружений, установили, что входная часть аварийного сброса не сопряжена с руслом канала, а водопропускные трубы на канале не справляются с пропуском расчетного расхода. Таким образом, аварийный сброс создает подпоры в русле канала и приводит к чрезвычайным ситуациям (рис. 3).

Для повышения водности мелиоративного комплекса Гулькевичского района

и безопасности эксплуатации Новокубанского канала разработана схема реконструкции гидроузла. В частности, предложено строительство нового водопропускного сооружения – водоприемник из железобетона с устройством шлюзов-регуляторов с плоскими затворами на основном русле канала и сбросном канале, замена водопропускных труб диаметром 1000 мм на трубы диаметром 1500 мм на канале, а также установка новых труб диаметром 1000 мм на аварийном сбросе (рис. 4).

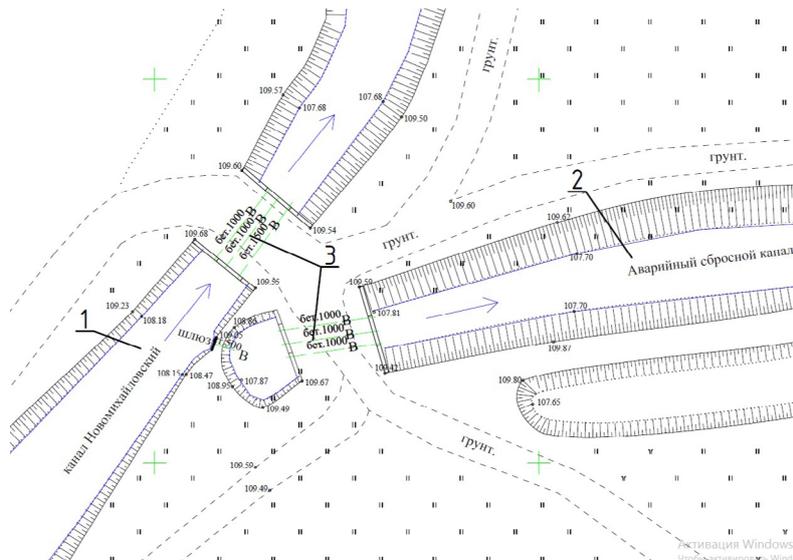


Рис. 3. Гидроузел на Новокубанском канале:

1 – основное русло канала; 2 – аварийно-сбросной канал; 3 – шлюзы-регуляторы

Fig. 3. Waterworks on the Novokubansky canal:

1 – the main channel; 2 – emergency discharge channel; 3 – gateway regulators

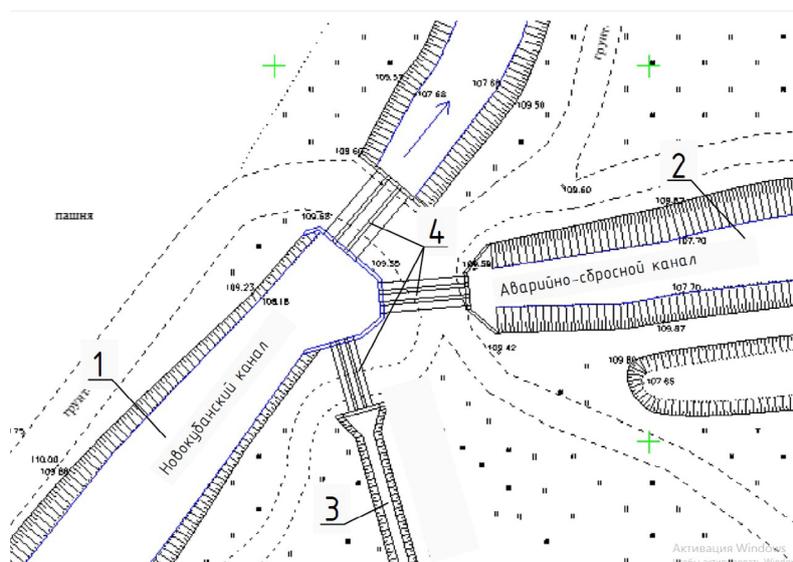


Рис. 4. Схема реконструкции гидроузла на Новокубанском канале:

1 – основное русло канала; 2 – аварийно-сбросной канал;

3 – подающий оросительный канал из р. Кубань; 3 – шлюзы-регуляторы

Fig. 4. The scheme of reconstruction of the waterworks on the Novokubansky canal:

1 – the main channel; 2 – emergency discharge channel;

3 – feeding irrigation channel from the Kuban River; 4 – gateway regulators

На новом гидроузле предусмотрена бетонная аванкамера глубиной 2 м и площадью 183 м², в которой имеются водопропускные отверстия с гидротехническими затворами для выполнения технологических операций управления расходами в зависимости от сложившейся ситуации на Новокубанском канале. Повышение оросительной способности осуществляется оросительным каналом длиной 4,2 км и шириной по дну 1,5 м, который самотеком подает воду из р. Кубань, через водопропускное сооружение – в Новокубанский канал и далее – на оросительные системы.

Выводы

В результате исследований гидротехнических сооружений Верхне-Кубанской оросительной системы Краснодарского края установлено их неудовлетворительное техническое состояние, вследствие чего нагрузки, соответствующие

пропуску регламентированных расходов и паводковых вод, не обеспечиваются.

В сочетании с засушливыми явлениями, участившиеся на юге Европейской части России, проблема, связанная с водообеспеченностью рассматриваемой территории орошаемого земледелия и, соответственно, поддержанием заданных режимов полива возделываемых сельскохозяйственных культур, только усугубляется. Разработаны мероприятия по реконструкции гидроузла на Новокубанском канале, включающие в себя строительство нового водопропускного сооружения и замену транзитных водоводов, реализация которых позволит снизить риски возникновения аварийных ситуаций, повысить водность мелиоративной системы и обеспечить агрохозяйства Новокубанского и Гулькевичского районов требуемым расходом оросительных вод для получения проектных урожаев сельскохозяйственных культур.

Список использованных источников

1. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад / Под ред. Р.С. – Х. Эдельгериева. М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. Т. 3. 700 с.
2. Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного (земельного) покрова, тенденции изменения, деградации, методологии учета, прогнозы: монография / Под ред. Р.С. – Х. Эдельгериева, А.В. Гордеева, А.Л. Иванова. М.: ООО «Изд-во МБА», 2022. 100 с.
3. **Раткович Е.Л., Добрачев Ю.П., Бубер А.А.** Теоретические подходы к оптимизации водопользования на рисовых оросительных системах Нижней Кубани // Орошаемое земледелие. 2022. № 2 (37). С. 18-22.
4. **Бубер А.Л., Бондарик И.Г., Бубер А.А.** Развитие оптимизационных подходов к управлению водными ресурсами Нижней Кубани для обеспечения требований водопользователей в маловодные годы // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 6. С. 40-44 с.
5. **Мальшева Н.Н., Якуба С.Н., Хаджиди А.Е.** К вопросу развития мелиорации в степной зоне Краснодарского края // Рисоводство. 2021. № 4 (53). С. 66-73.
6. **Бандурин М.А.** Диагностика технического состояния и оценка остаточного ресурса работоспособности водопроводящих сооружений оросительных систем: монография. Изд. 3-е, доп. и перераб. Новочеркасск: Лик, 2022. 230 с.
7. **Дубяго Д.С., Новиков А.Е., Мажайский Ю.А.** Повышение качества проводимых бетонных работ при ремонте и восстановлении конструкций гидротехнических сооружений на мелиоративных системах // Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 561-568.
8. **Дубенок Н.Н.** Виды и структура ремонтных работ гидромелиоративных систем Республики Беларусь / Дубяго Д.С., Новиков А.Е., Климакина М.В. и др. // Орошаемое земледелие. 2022. № 4 (39). С. 13-16.

References

1. National report "Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, measures of prevention, control, elimination of consequences and adaptation measures (Agriculture and Forestry)" / Ed. by R.S. – Kh. Edelgeriyeva. Moscow, MBA Publ., 2021. T. 3. 700 p.
2. Land use of Russia in the context of global climate change and unprecedented socio-economic challenges: state of soil (land) cover, trends of change, degradation, accounting methodologies, forecasts: monograph / Ed. by R.S. – Kh. Edelgeriyeva A.V. Gordeeva, A.L. Ivanova. M.: ООО «Publishing house MBA», 2022. 100 p.
3. **Ratkovich E.L., Dobrachev Yu.P., Buber A.A.** Theoretical approaches to optimization of water use in rice irrigation systems of Nizhnyaya Kuban // Irrigated agriculture. 2022. № 2 (37). P. 18-22.
4. **Buber A.L., Bondarik I.G., Buber A.A.** Development of optimization approaches to the management of water resources of the Lower Kuban for ensuring the requirements of water users in low-water years. // Land reclamation and water management. 2018. № 6. P. 40-44
5. **Malysheva N.N., Yakuba S.N., Khadzhide A.E.** On the issue of the development of land reclamation in the steppe zone of the Krasnodar Territory // Rice farming. 2021. № 4 (53). P. 66-73.
6. **Bandurina M.A.** Diagnostics of technical state and assessment of the residual resource of the performance of water-conducting structures of irrigation systems: monograph. Ed. 3rd, add. and rev. Novocherkassk: Lik, 2022. 230 p.
7. **Dubyago D.S., Novikov A.Ye., Mazhayskiy Yu.A.** Improving the quality of concrete work in the repair and restoration of hydraulic structures on melioration systems // Izvestiya NV AUK. – 2022. № 4 (68). P. 561-568.
8. **Dubenok N.N.** Types and structure of repair works of hydromelioration systems of the Republic of Belarus / Novikov D.S., Novikov A.E., Klimakhina M.V. [and others] // Irrigated agriculture. 2022. № 4 (39). P. 13-16.
9. **Volosukhin V.A.** Effectiveness of monitoring the technical state of the flood control system in the water management complex of the Lower Kuban in the conditions

9. **Волосухин В.А.** Эффективность мониторинга технического состояния противопаводковой системы в водохозяйственном комплексе Нижней Кубани в условиях возрастающих и сейсмических воздействий / Бандурин М.А., Приходько И.А., Комсюкова Я.А. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 8, № 4. С. 222-228.

10. **Кузнецов Е.В.** Исследование зимне-весеннего водно-ресурсного потенциала на водосборах рек Краснодарского края в 2017 году / Папенко И.Н., Звонков Н.К., Ященко К.В. // Труды Кубанского аграрного университета. 2017. № 65. С. 151-156.

11. **Раткович Л.Д., Сафонова Н.В., Агеев Д.В.** Повышение водообеспеченности комплексного водопотребления в условиях многолетнего регулирования речного стока // Природообустройство. 2019. № 2. С. 126-134.

12. **Дубенок Н.Н.** Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии / Болотин Д.А., Новиков А.А., Болотин А.Г. // Известия Нижневолжского агро-университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 83-90.

13. **Кременской В.И., Вердыш М.В.** Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым // Природообустройство. 2016. № 5. С. 72-77.

Об авторах

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

Андрей Евгеньевич Новиков, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, доцент; директор Всероссийского НИИ орошаемого земледелия; ORCID: 0000-0002-8051-4786; Author ID: 619181; novikov@vniioz.ru

Буханиф Иссам Новиков, аспирант; issamboukhanef1995@gmail.com

of rising and seismic impacts / Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Komsyukova Y.A. // International Journal of Agriculture. 2022. Т. 8. № 4. P. 222-228

10. **Kuznetsov Ye.V.** Study of winter-spring water resource potential in the watersheds of the rivers of the Krasnodar region in 2017 / Papenko I.N., Zvonkov N.K., Yashchenko K.V. // Proceedings of the Kuban Agrarian University. 2017. № 65. P. 151-156.

11. **Ratkovich L.D., Safonova N.V., Ageyev D.V.** Improvement of water supply in the conditions of multi-year regulation of river flow. // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 2. P. 126-134.

12. **Dubenok N.N.** Efficiency of water resources use in irrigated agriculture / Bolotin D.A., Novikov A.A., Bolotin A.G. // Izvestiya of Nizhnevolzhsky agrouniversitet complex: science and higher professional education. 2018. № 3 (51). P. 83-90.

13. **Kremensky V.I., Verdysh M.V.** Wastewater as a promising resource for improving water supply of the Republic of Crimea // Prirodoobustrojstvo. 2016. № 5. P. 72-77.

Author information

Anna E. Hadjidi, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply; ORCID: 0000-0002-1375-9548; Author ID: 509767; dtn-khanna@yandex.ru

Andrey E. Novikov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Director of the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture; ORCID: 0000-0002-8051-4786; Author ID: 619181; novikov@vniioz.ru

Bukhani I. Novikov, PhD student; issamboukhanef1995@gmail.com

Критерии авторства / Criteria of Authorship

Хаджиди А.Е., Новиков А.Е., Буханиф И. 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 конфликта интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have contributed equally to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 25.04.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.11.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.11.2023

Khadzidi A.E., Novikov A.E., Boukhanef I. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-12-17>

УДК 631.67:631.4:532.543



МЕТОДОЛОГИЯ ВЛИЯНИЯ СВОБОДНОЙ ПОРОЗНОСТИ И ВОДООТДАЧИ НА ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПОЧВОГРУНТАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ С ЗЕМЛЯНЫМ РУСЛОМ

О.В. Михеева , А.В. Кравчук, С.С. Орлова, Е.Н. Миркина, Т.А. Панкова

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

Аннотация. Цель исследований – изучение влияния свободной порозности и водоотдачи на явление фильтрации воды через земляное русло канала. При проведении исследований использованы теоретические методы расчета фильтрации в каналах с земляным дном. В статье представлен расчет потерь фильтрационного расхода на 1 км длины при устойчивой свободной поверхности для различных типов поперечного сечения канала, рассмотрены основные формулы, доказывающие, что расход воды меняется с изменением поперечного сечения канала, показано изменение устойчивости откосов канала, представлен проверочный расчет канала на фильтрационную прочность в соответствии с экстремальными градиентами давления, рассмотрена необходимость сравнения превышения критического градиента давления фильтрации с допустимым градиентом давления. Представлено соотношение между полной, капиллярной и наименьшей влагемостями и водоотдачей в толще почвогрунтов, рассмотрены зависимость свободной порозности от уровня грунтовых вод, изменение водопроницаемости почвогрунтов с течением времени. В результате исследований собран материал влияния свободной порозности и водоотдачи на движение воды в почвогрунтах и влияния на повышение уровня грунтовых вод в зоне влияния каналов, представлена методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов в земляном русле, что позволит использовать его для моделирования данных процессов на ЭВМ. Свободная порозность и потери воды играют важную роль на первом и втором этапах фильтрации воды из каналов. Обобщен имеющийся материал о процессах, происходящих в почвах, и его применении для дальнейшей разработки программ, описывающих и использующих теоретические данные на практике.

Ключевые слова: порозность, водоотдача, фильтрация, оросительный канал, стадии фильтрации, земляное русло, коэффициент фильтрации, градиент напора, наименьшая влагемость, полная влагемость

Формат цитирования: Михеева О.В., Кравчук А.В., Орлова С.С., Миркина Е.Н., Панкова Т.А. Методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов с земляным руслом // Природообустройство. 2024. № 1. С. 12-17. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-12-17>

Original article

METHODOLOGY OF INFLUENCE OF FREE POROSITY AND WATER LOSS ON THE PROCESSES OCCURRING IN THE SOILS OF IRRIGATION CHANNEL WITH AN EARTH BED

O.V. Mikheeva , A.V. Kravchuk, S.S. Orlova, E.N. Mirkina, T.A. Pankova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, Ave. Petra Stolypin, Russia

Abstract. Purpose of the research: to consider the influence of free porosity and water loss on the filtration of water from channels with an earthen bed. Explore existing calculation methods taking into account the parameters of free porosity and fluid loss. Collect calculation material that can form the basis of a program for calculating the filtration of channels with an earthen bed, taking into account the factors influencing the first and second stages of filtration in the channels. Materials and research methods: The work used theoretical methods for calculating filtration in channels with an earthen bed, presented the calculation of the loss of flow rate Q_f for filtration per 1 km of length with a steady free surface for different types of channel cross-sections, considered the basic formulas

proving that water supply changes with changes in transverse cross-section of the canal, the change in the stability of the canal slopes is shown, a test calculation of the canal for filtration strength according to the maximum pressure gradients is presented, the need to compare the excess of the critical filtration pressure gradient with the permissible pressure gradient is considered. Results and its discussion. The relationship between the total, capillary and minimum moisture capacity and water yield in the thickness of soils is presented, the dependence of free porosity on the groundwater level, and the change in water permeability of soils over time are considered. As a result of the research, material was collected on the influence of free porosity and water loss on the movement of water in soils and the influence on the increase in groundwater levels in the zone of influence of canals, a methodology was presented for the influence of free porosity and water loss on the processes occurring in the soils of irrigation canals in an earthen channel, which will allow its use for modeling these processes on a computer.

Keywords: porosity, water loss, filtration, irrigation channel, filtration stages, earth channel, filtration coefficient, pressure gradient, minimum water capacity, total water capacity

Format of citation: Mikheeva O.V., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mirkina E.N., Pankova T.A. Methodology of the influence of free porosity and water loss on the processes occurring in the soils of irrigation channels with an earth bed // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 12-17. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-12-17>

Введение. Три стадии фильтрации воды можно выделить при рассмотрении каналов, расположенных в земляном русле. Первая стадия характеризуется смачиванием грунта и впитыванием воды из канала в сухой грунт. Вода в данном случае будет двигаться преимущественно в вертикальном направлении до тех пор, пока не достигнет капиллярной каймы. Далее равновесие бассейна грунтовых вод будет нарушаться, и они будут приходить в движение. Это начало второй стадии фильтрации воды из оросительных каналов, расположенных в земляном русле.

На первых двух стадиях большую роль играют порозность почвы и водоотдача. В связи с цифровизацией сельского хозяйства необходимо обобщение имеющегося материала, происходящих в почвогрунтах процессов и его применение для дальнейшей разработки программ, описывающих и использующих теоретические данные на практике.

В статье собран материал о влиянии свободной порозности и водоотдачи на движение воды в почвогрунтах и на повышение уровня грунтовых вод в зоне влияния каналов, представлена методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов в земляном русле.

Цель исследований: изучение влияния свободной порозности и водоотдачи на явление фильтрации воды через земляное русло канала.

Материалы и методы исследований. Определение фильтрационных потерь воды из оросительного канала является основным при проведении фильтрационного расчета каналов. Если канал расположен в земляном русле (рис. 1), то потери расхода Q_{ϕ} при фильтрации

на устойчивой свободной поверхности на 1 км длины можно определить по формулам (1-4).

Потери расхода для канала трапециевидного сечения можно определить как

$$Q_{\phi} = 0,0116 k_{\phi} \mu (B + 2h). \quad (1)$$

Если сечение полигональное и параболического сечения, формула будет преобразована в следующий вид:

$$Q_{\phi} = 0,0116 k_{\phi} (B + 2h), \quad (2)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунтов ложа канала, м/сут.; B – ширина канала по урезу воды, м; μ – коэффициент, зависящий от размеров канала; h – глубина воды в канале, м

В основании ложа канала коэффициент фильтрации будет равен

$$k_{\text{осн}} = t_1 + t_2 + t_3 / (t_1 / k_1 + t_2 / k_2 + t_3 / k_3), \quad (3)$$

где t_1, t_2, t_3 – мощность слоев грунта; k_1, k_2, k_3 – коэффициент фильтрации по слоям.



Рис. 1. Пример оросительного канала, расположенного в земляном русле

Fig. 1. Example of an irrigation channel located in the earthen channel

При расчете на 1 км длины по дну потери расхода на фильтрацию в канале определяются по формуле:

$$Q_{\phi} = 0,0116 k_{\text{осн}} (B + 2h), \quad (4)$$

где B – ширина канала по дну, м

Рассматривая изменение потерь фильтрационного потока, можно сделать вывод о том, что с изменением поперечного сечения канала изменится и расход воды, и это повлечет за собой изменение устойчивости откосов канала. Таким образом, для каналов параболического сечения устойчивость откосов будет обеспечиваться степенью параболы, а при многоугольной форме устойчивость откосов будет тем выше, чем меньше ширина канала в верхней части по сравнению с трапецевидным сечением. Трапецевидальная форма сечения канала будет наиболее устойчивой, стабильность этой формы будет обеспечиваться заданным коэффициентом заложения откоса [1-6].

Проверка оросительных каналов на фильтрационную прочность по предельному градиенту давления обязательна в связи с тем, что они подвергаются фильтрации. Градиент давления можно определить [3-8] по формуле:

$$I = H/l, \quad (5)$$

где H – напор, м; l – длина участка, м

На дно канала будут воздействовать вертикальные и горизонтальные силы. Гидравлические воздействия будут направлены вертикально, а фильтрационные силы – по касательной. Этот процесс характеризуется явлением суффозии, то есть удалением мелких частиц из почвенной массы.

Нарушение ложа и откосов канала будет наблюдаться, когда критический градиент давления превысит допустимые значения. Если канал трапецевидального сечения, то со временем его поперечное сечение превратится в многоугольное, а затем в параболическое. Неоднородность грунта обеспечит возможную вариабельность параметров фильтрации. Сравнение критического градиента фильтрационного давления с допустимым градиентом давления может быть достигнуто с использованием формулы:

$$I_{\text{доп}} \leq 1/m [\gamma_1/\gamma_0 - (1 - n)], \quad (6)$$

где m – коэффициент запаса, γ_1 – масса сухого грунта, γ_0 – масса воды; n – пористость грунта.

Результаты и их обсуждение. Одними из важнейших характеристик грунта являются свободная порозность (при поднятии уровня грунтовых вод) и водоотдача, если уровень грунтовых

вод будет опускаться. В случае подъема уровня грунтовых вод будет происходить капиллярное насыщение менее влажных пластов грунта. Свободная порозность зависит от соотношения скорости подъема грунтовых вод и скорости капиллярного поднятия.

Водоотдачу, зависящую от уровня грунтовых вод и коэффициента фильтрации, можно определить по формуле [3, 11, 12]:

$$\delta = 16,5 k^{1/2} a^{1/3}, \quad (7)$$

где δ – водоотдача; k – коэффициент фильтрации, м/с; a – уровень грунтовых вод, м

Разность между полной (ПВ) и наименьшей (НВ) влагоемкостью определяет значение максимальной величины (МВО) водоотдачи исследуемого слоя.

Максимальную водоотдачу можно определить по формуле:

$$\text{МВО} = \text{ПВ} - \text{НВ}. \quad (8)$$

Фактическая величина максимальной водоотдачи будет несколько меньше расчетной. Это объясняется тем, что полное насыщение почвы или грунта до полной влагоемкости – довольно редкое явление в естественных условиях, так как в почвогрунте имеется определенное количество заземленного воздуха.

Максимальной величины водоотдача достигает в том случае, если слой оказывается расположенным над верхней границей капиллярной каймы. Когда слой почвы окажется в пределах капиллярной каймы, а уровень вод остановится где-то в промежуточном положении, то водоотдача в этом случае будет меньше, и ее можно определить по формуле (9):

$$\text{ВО} = \text{ПВ} - \text{КВ}, \quad (9)$$

где КВ – величина капиллярной влагоемкости слоя при данном его положении над зеркалом грунтовых или почвенно-грунтовых вод. Чем ниже опускается уровень грунтовых вод, тем меньше будет капиллярная влагоемкость почвы, а значение водоотдачи слоя будет стремиться к своему максимальному значению.

На рисунке 2 [13, 14] представлено соотношение между полной, капиллярной и наименьшей влагоемкостями и водоотдачей в толще почвогрунтов, которая располагается над уровнем грунтовых вод. Показатели взяты для песчаных грунтов. Влажность, % от объема почвы или грунта, расположена по оси X , а по оси Y представлена глубина залегания слоя. Элементарные почвенные слои обозначены как 0, I, II, III, IV... VIII. Эти слои предполагаются достаточно тонкими, поэтому капиллярную влагоемкость в пределах каждого слоя будем полагать постоянной.

Имеются данные о том, что фактическое значение водоотдачи и свободной порозности, определенные в полевых и лабораторных условиях для высоких грунтовых вод, составляют от 0,01 до 0,1. Зависимость свободной порозности от расположения уровня грунтовых вод можно установить, зная, каким образом распределяется значение влажности при капиллярном поднятии.

Текущую свободную порозность можно определить по уравнению:

$$m_y = w_1 - w_y, \quad (8)$$

где m_y – средняя свободная порозность при подъеме уровня грунтовых вод до глубины y от поверхности земли; w_y – влажность на высоте y от поверхности грунтовых вод; w_1 – полная влагоемкость с учетом заземленного воздуха.

Скорость впитывания воды, то есть расход, впитывающийся через единицу площади за время t суток после начала впитывания, может быть определен по формуле [3, 8-11]:

$$Vt = k_b [0,75 + 0,25(1 + (16b^2/t))^{1/2}], \quad (9)$$

где k_b – коэффициент водопроницаемости при полном насыщении с учетом заземленного воздуха, м/сут.;

$$b = 0,6\beta [(w_1 h_k + 1,4h_0/\beta)/k_b]^{1/2}, \text{ сут.}^{1/2}; \quad (10)$$

$$\beta = (w_1 - w)/(w_1 - w_0), \quad (11)$$

где h_0 – глубина воды в канале; w – исходная влажность перед началом впитывания.

Зависимость m_y/w_1 от β представлена в таблице 1.

Длительная фильтрация из каналов протекает в условиях трех качественно отличающихся друг от друга стадий.

Первая стадия продолжается до смыкания фронта опускающегося фильтрационного потока с капиллярной каймой грунтовых вод.

Приблизительно продолжительность первой стадии для крупных каналов без учета растекания равна

$$t_1 = (H_0 - h_k) \delta / k_b, \quad (12)$$

где H_0 – превышение дна канала над уровнем грунтовых вод; h_k – высота капиллярного поднятия.

Для канала трапецеидального сечения с размерами $b = 9$ м, $h = 1$ м, $m = 1,5$ скорость просачивания для разных типов грунтов представлена в таблице 2.

Для крупных каналов первая стадия весьма непродолжительна, и фронт опускающегося фильтрационного потока вскоре после начала работы канала достигает капиллярной каймы грунтовых вод.

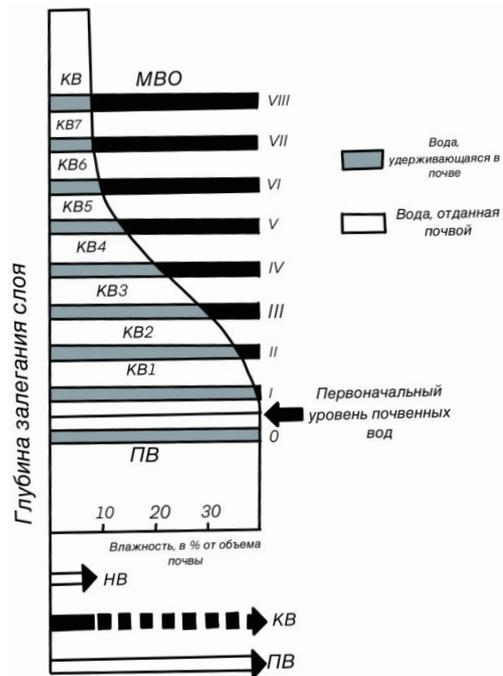


Рис. 2. Соотношение между полной, капиллярной и наименьшей влагоемкостями и водоотдачей

Fig. 2. The ratio between the total, capillary and smallest moisture capacity and water loss

Таблица 1. Зависимость m_y/w_1 от β при колебаниях уровня грунтовых вод [3]

Table 1. Dependence of m_y/w_1 on β under fluctuations in the groundwater level [3]

β	m_y/w_1
0	0
0,05	0,025
0,1	0,051
0,15	0,078
0,2	0,100
0,25	0,134
0,3	0,163

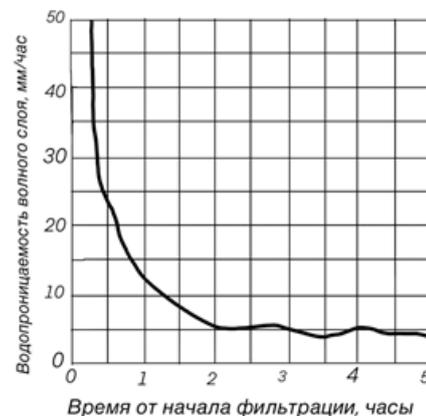


Рис. 3. Изменение водопроницаемости почвогрунтов с течением времени

Fig. 3. Changes in the water permeability of soils over time

Таблица 2. Зависимость скорости просачивания от разных типов грунтов
Table 2. Dependence of the infiltration rate on different types of soils

Грунт ложа канала <i>Soil channel bed</i>	Скорость просачивания воды, м/сут <i>Water infiltration rate, m/day</i>
Тяжелая глина / <i>Heavy clay</i>	0,05
Средняя глина / <i>Medium clay</i>	0,12
Суглинок тяжелый / <i>Heavy loam</i>	0,18
Супесь / <i>Sandy loam</i>	0,4
Песок крупный / <i>Coarse sand</i>	0,6

Стадия капиллярно-грунтового потока является второй стадией фильтрации воды из каналов. Она начинается с момента, когда фронт фильтрационного потока смыкается с капиллярной каймой грунтовых вод.

Третья стадия – стадия сплошного потока грунтовых вод – осуществляется при полной гидравлической связи фильтрационного потока в зоне канала и потока грунтовых вод [3]. Так, для оросительного канала, имеющего параметры $b = 5$ м, $h = 1,5$ м, $m = 1$, грунт суглинок с коэффициентом фильтрации $0,2$ м/сут. фильтрационный расход на 1 км длины для третьей стадии фильтрации составит около $0,026$ м³/сут.

Выводы

Таким образом, в начале эксплуатации оросительного канала наблюдается быстрый подъем грунтовых вод в скважинах,

Список использованных источников

1. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1979. 379 с.
2. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика: учебник для вузов. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1989. 320 с.
3. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 237 с.
4. Janosi I.M., Jan D., Szabo K.G. and TEL T. 2004 Turbulent drag reduction in dam-break flows. Experiments in Fluids. 2004. № 37. Pp. 219-224.
5. Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С. Оценка надежности работы каналов // Научная жизнь. 2013. № 5. С. 29-32.
6. Ильичева И.А., Михеева О.В., Шмагина Э.Ю. К вопросу об эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений Саратовской области // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2013. № 2 (2). С. 28-34.
7. Yabe T., Ogata Y. Conservative semi-Lagrangian CIP technique for the shallow water equations // Computational Mechanics. 2010. Vol. 46, No 1. Pp. 125-134.
8. Suwandana E., Kawamura K., Sakuno Y. and Kustiyanto E. Thematic information content assessment of the ASTER GDEM: A case study of watershed

расположенных в нескольких километрах от канала, и значительное падение уровня воды в отдельных котлованах при быстром вводе в эксплуатацию канала. При изменении уровня грунтовых вод, расположенных близко к поверхности земли в зоне капиллярного подъема, свободная пористость будет зависеть от положения уровня грунтовых вод, то есть чем выше уровень грунтовых вод, тем ниже значение свободной пористости.

Зависимость свободной пористости от местоположения уровня грунтовых вод может быть определена по распределению влаги во время капиллярного подъема. При медленном изменении уровня грунтовых вод и их глубоком расположении свободную пористость можно считать постоянной для нестационарного потока. Свободная пористость и водоотдача играют большую роль на первом и втором этапах фильтрации воды из каналов.

Обобщен имеющийся материал, процессы, происходящие в почвах, и его применение для дальнейшей разработки программ, описывающих и использующих теоретические данные на практике. В статье содержится собранный материал о влиянии свободной порозности и водоотдачи на движение воды в почвах, на повышение уровня грунтовых вод. Представлена методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвах оросительных каналов с земляным ложем, что позволит использовать его для моделирования этих процессов на компьютере.

References

1. Mirtskhulava T.E. Reliability of irrigation and drainage structures. M.: Kolos, 1979. 379 p.
2. Rozanov Yu.A. Probability theory, random processes and mathematical statistics: a textbook for universities. 2nd ed., add. M.: Science. Ch. ed. physics and mathematics Lit., 1989. 320 p.
3. Averyanov S.F. Filtration from canals and its influence on the groundwater regime. M.: Kolos, 1982. 237 p.
4. Janosi I.M., Jan D., Szabo K.G. and TEL T 2004 Turbulent drag reduction in dam-break flows. Experiments in Fluids 37: pp 219-224
5. Pankova T.A. Assessing the reliability of channel operation / Pankova T.A., Mikheeva O.V., Orlova S.S. // Scientific life. 2013. No. 5. P. 29-32
6. Plyicheva I.A. On the issue of operational reliability of hydraulic structures in the Saratov region / Plyicheva I.A., Mikheeva O.V., Shmagina E.Yu. // Technical regulation in transport construction. 2013. No. 2 (2). pp. 28-34.
7. Yabe T., Ogata Y. Conservative semi-Lagrangian CIP technique for the shallow water equations // Computational Mechanics. 2010. V. 46. No. 1. P. 125-134.
8. Suwandana E., Kawamura K., Sakuno Y. and Kustiyanto E. 2012 Thematic information content assessment of the ASTER GDEM: A case study of watershed

delineation in West Java, Indonesia // Remote Sensing Letters. 2012. Vol. 3 (5). Pp. 423-432.

9. **Omid M.H., Karbasi M. and Farhoudi J.** Effects of bed-load movement on flow resistance over bed forms // Sadhana. 2010 Vol. 35, № 6. Pp. 681-691.

10. **Lai J-S., Guo W-D., Lin G-F. and Tan Y-C.** A well-balanced upstream flux-splitting finite-volume scheme for shallow-water flow simulations with irregular bed topography // International Journal for Numerical Methods in Fluids. 2010. Vol. 62, № 8. Pp. 927-944.

11. **Kesserwani G. and Liang Q.** Well-balanced RKDG2 solutions to the shallow water equations over irregular domains with wetting and drying // Computers & Fluids. 2010. Vol. 39, № 10. Pp. 2040-2050.

12. **Абдразаков Ф.К.** Исследование изменения уровня грунтовых вод в зоне влияния водохранилища / Михеева О.В., Панкова Т.А., Орлова С.С., Миркина Е.Н. // Аграрный научный журнал. 2018. № 9. С. 50-55.

13. **Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С.** Исследование эксплуатационного состояния оросительных каналов // Аграрный научный журнал. 2015. № 6. С. 64-68.

14. Официальный сайт «Земледелие от «А» до «Я». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://racechrono.ru/vodnye-svoystva-pochv/4747-vodoot-dacha-i-poroznost-aeracii.html>.

Об авторах

Ольга Валентиновна Михеева, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>, omuk@inbox.ru

Алексей Владимирович Кравчук, д-р.техн. наук, профессор <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>; aleks100sgau@yandex.ru

Светлана Сергеевна Орлова, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>; orlovass77@mail.ru

Елена Николаевна Миркина, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>; docentmirkina@rambler.ru

Татьяна Анатольевна Панкова, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>; vtanja@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Михеева О.В., Кравчук А.В., Орлова С.С., Миркина Е.Н., Панкова Т.А. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have contributed equally to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 15.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

delineation in West Java, Indonesia // Remote Sensing Letters. – V. 3(5) pp 423-432

9. Omid M H, Karbasi M and Farhoudi J 2010 Effects of bed-load movement on flow resistance over bed forms // Sadhana. V. 35. No. 6 pp 681-691

10. Lai J-S, Guo W-D, Lin G-F and Tan Y-C 2010 A well-balanced upstream flux-splitting finite-volume scheme for shallow-water flow simulations with irregular bed topography // International Journal for Numerical Methods in Fluids. V. 62. N8. pp 927-944.

11. Kesserwani G and Liang Q 2010 Well-balanced RKDG2 solutions to the shallow water equations over irregular domains with wetting and drying // Computers & Fluids. V. 39. – N10. pp 2040-2050.

12. **Abdrazakov F.K.** Study of changes in groundwater levels in the zone of influence of the reservoir / Abdrazakov F.K., Mikheeva O.V., Pankova T.A., Orlova S.S., Mirkina E.N. // Agrarian scientific journal. 2018. No. 9. P. 50-55.

13. **Pankova T.A.** Study of the operational state of irrigation canals / Pankova T.A., Mikheeva O.V., Orlova S.S. // Agrarian scientific journal. 2015. No. 6. P. 64-68.

14. Official website Agriculture from “A” from “Z” [Electronic resource] – access mode: <https://racechrono.ru/vodnye-svoystva-pochv/4747-vodoot-dacha-i-poroznost-aeracii.html>

Author information

Olga V. Mikheeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>; omuk@inbox.ru

Alexey V. Kravchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>; aleks100sgau@yandex.ru

Svetlana S. Orlova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor <https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>; orlovass77@mail.ru

Elena N. Mirkina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>; docentmirkina@rambler.ru

Tatyana A. Pankova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>; vtanja@mail.ru

O.V. Mikheeva, A.V. Kravchuk, S.S. Orlova, E.N. Mirkina, T.A. Pankova carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have the copyright to the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-18-24>

УДК 631.4: 631.344.8:631.67:536.2



РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА МЕТОДОМ КОНЕЧНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЛУЧИСТОГО ОБОГРЕВА ПОЧВЫ

М.В. Павлов[✉], Д.Ф. Карпов

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

Аннотация. Цель исследований – нахождение, прогнозирование и регулирование температурно-влажностного режима почвы для условий лучистого отопления культивационных сооружений с применением потолочных инфракрасных излучателей темного типа. В работе без промежуточных математических преобразований представлена общепринятая система дифференциальных уравнений (как в размерном, так и в безразмерном видах), учитывающая основные и перекрестные процессы теплопереноса в дисперсных средах. Для данной системы уравнений рассмотрено частное аналитическое решение, которое учитывает не только основные, происходящие независимо друг от друга явления теплопереноса, но и влияние переноса водяных паров на формирование температурного поля слоя почвы. На примере фрезерного торфа представлены результаты решения данной задачи в виде одномерных нестационарных полей температуры и влагосодержания. С учетом заданных условий однозначности (геометрических, физических, начальных и граничных условий) установлено, что достижение требуемых значений влагосодержания и температуры произойдет через 6 ч. При этом изменение влагосодержания практически отсутствует в течение рассматриваемого периода на координатном отрезке $z \in [0; 6, 0]$ см. Решение математической задачи, реализованное в программной среде, позволяет контролировать тепловой и влажностный режимы почвы путем регулирования теплового потока на ее поверхности (в случае очевидной зависимости между величиной теплового потока и интенсивностью испарения с поверхности почвы). В силу того, что предложенное в статье решение является частным и не учитывает термодиффузию в слое почвы, то есть влияние разности температур на перенос влаги, представляется целесообразным и имеет научный интерес рассмотрение в дальнейшем общего решения системы дифференциальных уравнений взаимосвязанного теплопереноса.

Ключевые слова: температурно-влажностный режим, теплоперенос, метод конечного интегрального преобразования Фурье, коллоидное капиллярно-пористое тело, лучистый обогрев, культивационное сооружение, теплица, почва, фрезерный торф

Формат цитирования: Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Решение краевой задачи теплопереноса методом конечного интегрального преобразования Фурье для условий лучистого обогрева почвы // Природообустройство. 2024. № 1. С. 18-24. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-18-24>

Original article

SOLUTION OF THE BOUNDARY VALUE PROBLEM OF HEAT AND MASS TRANSFER USING THE FOURIER METHOD OF FINITE INTEGRAL TRANSFORM FOR RADIANT SOIL HEATING CONDITIONS

M.V. Pavlov[✉], D.F. Karpov

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

Abstract. The purpose of the research is to find, predict and regulate the temperature and humidity regime of the soil for the conditions of radiant heating of cultivation facilities using dark-type ceiling infrared radiators. In the work, without intermediate mathematical transformations, a generally accepted system of differential equations (both in dimensional and dimensionless forms) is presented, taking into account the main and cross processes of heat and mass transfer in dispersed media. For this system of equations, a particular analytical solution is considered, which takes into account not only the main phenomena of heat and mass transfer that occur independently of each other, but also the effect of water vapor transfer on the formation of the temperature field of the soil layer. Using the example of milling

peat, the results of solving this problem are presented in the form of one-dimensional unsteady fields of temperature and moisture content. Taking into account the given unambiguity conditions (geometric, physical, initial and boundary conditions), it is established that the required values of moisture content and temperature will be reached in six hours. At the same time, there is practically no change in moisture content during the time period under consideration on the coordinate segment $z \in [0; 6, 0]$ sm. The solution of the mathematical problem, implemented in a software environment, allows you to control the thermal and humidity conditions of the soil by regulating the heat flow on its surface (in the case of an obvious relationship between the magnitude of the heat flux and the intensity of evaporation from the soil surface). Due to the fact that the solution proposed in the article is a particular one and does not take into account thermal diffusion in the soil layer, i.e. the influence of temperature differences on moisture transfer seems appropriate and of scientific interest to consider further the general solution of the system of differential equations of interrelated heat and mass transfer.

Keywords: temperature and humidity conditions, heat and mass transfer, Fourier transform method, colloidal capillary-porous body, radiant heating, cultivation structure, greenhouse, soil, milling peat

Format of citation: Pavlov M.V., Karpov D.F. Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer using the Fourier method of finite integral transform for radiant soil heating conditions // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 18-24. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-18-24>

Введение. Изучение тепловых и массообменных процессов, происходящих в культивационных сооружениях, возможно на различных иерархических уровнях. С одной стороны, при разработке программных методов и инженерных методик проектирования и расчета систем отопления следует рассматривать тепловые и материальные балансы самого помещения, где выращиваются сельскохозяйственные культуры (томаты, огурцы и др.), его ограждения и поверхности почвы (интегральный подход) [1]. При этом необходимо учитывать взаимосвязь потоков теплоты и массы, а также их влияние на параметры микроклимата внутри помещения: температуру и относительную влажность внутреннего воздуха, температуру поверхности почвы. С другой стороны, представляет интерес дифференциальный подход, при котором теплообмен детально исследуется не во всей теплице, а в рамках ее отдельно взятого элемента [2]. С точки зрения благоприятного роста, развития и плодоношения растений очевидно, что таким элементом является почва, где искомыми величинами могут служить влагосодержание и температура слоя, изменяющиеся во времени.

Как известно, исследование многочисленных теплообменных процессов, происходящих в физическом теле, связано с решением задач молекулярного переноса энергии и вещества, которые обычно подчиняются линейному закону (например, перенос теплоты теплопроводностью описывается линейным законом Фурье). При этом рассматриваемые линейные законы положены в основу вывода соответствующих дифференциальных уравнений. Решение данных уравнений при определенных начальных

и граничных условиях, характеризующих начальное состояние тела и взаимодействие поверхности тела с окружающей средой, представляет известные математические трудности [3].

С конца XVIII в. до настоящего времени разрабатываются различные методы решения дифференциальных уравнений. В ходе развития экспериментальных методов установлена непосредственная связь между процессами переноса энергии и вещества (например, перенос теплоты теплопроводностью вызывает перенос вещества – термодиффузию, эффект Соре) [4]. Последнее характерно и для почвы, представляющей собой коллоидное капиллярно-пористое тело, в условиях инфракрасного обогрева [5].

Цель исследований: нахождение, прогнозирование и регулирование температурно-влажностного режима почвы для условий лучистого отопления культивационных сооружений с применением потолочных инфракрасных излучателей темного типа.

Материалы и методы исследований. Для решения многих задач теплообмена применяются не только классические методы (как, например, метод источников для полуограниченной области), но и методы интегральных преобразований, которые позволяют свести дифференциальные уравнения к системе алгебраических выражений. При этом математические операции производятся не над самой функцией («оригиналом»), а над ее видоизмененным аналогом («изображением»). Данный подход с учетом постановки задачи и определенных граничных условий позволяет избежать сложных математических преобразований и перейти от нескольких взаимосвязанных дифференциальных

уравнений к одному обыкновенному дифференциальному уравнению [6]. Кроме того, рассмотренный ранее [7] метод источников является ограниченным в использовании и может применяться только для предварительных расчетов, так как исключает учет очевидной взаимосвязи между тепловыми и массообменными процессами, происходящими в слое почвы (так называемые перекрестные явления тепломассопереноса в дисперсных средах).

Методы конечных интегральных преобразований имеют ряд известных неоспоримых преимуществ в сравнении с другими математическими методами [8]:

1. позволяют свести сложные математические задачи (особенно при решении системы взаимосвязанных дифференциальных уравнений) к менее сложным (алгебраическим уравнениям). Как отмечено выше, в основе метода интегральных преобразований лежит переход от оригинала функции, представляющего собой систему дифференциальных уравнений в частных производных, к изображению, выраженному в виде обыкновенного дифференциального уравнения;

2. позволяют получать решения в явном виде, что крайне важно при выполнении программных вычислений.

В операционном исчислении существуют методы преобразования Лапласа, Фурье и Ханкеля [9]. Комплексное интегральное преобразование Фурье удобно применять для тел неограниченной протяженности. Рассмотрим его применение для решения краевой задачи тепломассопереноса для условий лучистого обогрева почвы.

Взаимосвязанные процессы тепломассопереноса в дисперсных средах при условии постоянства физических свойств вещества принято описывать следующими уравнениями в частных производных (математический вывод данных уравнений представлен в работе [10]):

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = a_w \nabla^2 W + a_w \delta \nabla^2 t; \quad (1)$$

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

где W – влагосодержание, кг / кг; t – температура, °C; τ – время, с; a_w – коэффициент диффузии, м² / с; δ – термоградиентный коэффициент (коэффициент Сорэ), 1/°C; a_t – коэффициент температуропроводности, м² / с; r – удельная теплота парообразования, Дж / кг; ε – критерий фазового превращения; c_m – удельная массовая теплоемкость, Дж / (кг · К).

Система дифференциальных уравнений (1) и (2) является общепринятым математическим выражением взаимосвязанных процессов тепломассопереноса в дисперсных средах, к которым

также можно отнести и слой почвы. Формула (1) учитывает не только диффузию влаги, вызванную градиентом влагосодержания W в двух различных координатах (закон Фика), но и влияние разности температур на перемещение влаги (термодиффузия, эффект Сорэ). В свою очередь, в формулу (2) входит не только дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье, но и слабое, отвечающее за пародиффузионные процессы (вместе с капиллярным переносом водяных паров и их последующей конденсацией за счет скрытой теплоты парообразования происходит местный нагрев слоя почвы).

С целью обобщения результатов экспериментальной работы и универсализации полученных расчетных значений дифференциальные уравнения (1) и (2) могут быть записаны в безразмерном виде с использованием соответствующих чисел (критериев) подобия (математический вывод данных уравнений представлен в работе [10]):

$$\frac{\partial \theta}{\partial Fo_w} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + Pn \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial Fo_t} = \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} + Ko^* Lu \frac{\partial \theta}{\partial Fo_w}, \quad (4)$$

где $\theta = \frac{W_n - W}{W_n - W_k}$ – безразмерное влагосодержание; W_n и W_k – начальное и конечное влагосодержание почвы соответственно, кг / кг; $T = \frac{t - t_n}{t_k - t_n}$ – безразмерная температура; t_n

и t_k – начальная и конечная температура почвы соответственно, °C; $Fo_w = \frac{a_w \tau}{h^2}$ – массообменное число Фурье;

$Fo_t = \frac{a_t \tau}{h^2}$ – теплообменное число Фурье; h – толщина (глубина) слоя почвы, м; $\xi = \frac{z}{h}$ – безразмерная координата;

$Pn = \frac{\delta(t_k - t_n)}{W_n - W_k}$ – число Поснова; $Ko^* = \varepsilon Ko$ – модифицированное число Коссовича; $Ko = \frac{r(W_n - W_k)}{c_m(t_k - t_n)}$ – число Коссовича; $Lu = \frac{a_w}{a_t}$ – число Льюкова (Льюиса).

Результаты и их обсуждение. Пусть существует слой почвы неограниченных размеров по координатным осям Ox и Oy (рис. 1), имеющий характерный линейный размер относительно оси Oz – толщину h , м. Начальное влагосодержание слоя почвы (в момент времени $\tau = 0$) равнозначно на координатном отрезке $z \in [0; h]$, м, и составляет W_n , кг / кг. Под воздействием испарительных процессов с поверхности почвы в окружающую среду интенсивностью i , кг / (м² · с), происходит изменение влагосодержания почвы по координате Oz в течение времени τ , с. Определить изменение влагосодержания слоя почвы вида $W(z, \tau)$.

Интенсивность испарительных процессов с поверхности почвы может быть определена согласно данным рисунка 1 по уравнению массоотдачи [11]:

$$i = \beta(p_n - p_c), \text{ кг / (м}^2 \cdot \text{с)}, \quad (5)$$

где β – коэффициент массоотдачи, $\text{кг / (Н} \cdot \text{с)}$, который рассчитывается через критериальные уравнения подобия массообменных процессов либо приближенно вычисляется по формуле Льюиса [12]; p_n и p_c – соответственно парциальное давление водяного пара на поверхности почвы и вдали от нее (в окружающей среде), Н / м^2 .

Рассмотрим решение задачи нестационарного массообмена без учета термодиффузии влаги, которая возникает в результате разности температур в двух различных точках дисперсной среды. Как отмечено [13], для ряда режимов нестационарного процесса тепло- и массопереноса эффект Соре весьма незначителен, так что вторым членом правой части уравнения (1) в некоторых случаях можно пренебречь.

Таким образом, условия однозначности для решения задачи массопереноса в слое почвы будут иметь вид:

$$\frac{\partial W(z, \tau)}{\partial \tau} = a_w \frac{\partial^2 W(z, \tau)}{\partial z^2} \quad (\tau > 0; 0 \leq z \leq h); \quad (6)$$

$$W(z, 0) = W_n; \quad (7)$$

$$a_w \rho \frac{\partial W(h, \tau)}{\partial z} + i = 0; \quad (8)$$

$$W(0, \tau) = W_n, \quad \frac{\partial W(0, \tau)}{\partial z} = 0, \quad (9)$$

где ρ – плотность скелета почвы, кг / м^3 .

Решение дифференциального уравнения (6) при начальных (7) и граничных (8), (9) условиях известно и имеет вид [12]:

$$W(z, \tau) = W_n - \frac{ih}{a_w \rho} \left[Fo_w - \frac{1}{6} \left(1 - 3 \frac{z^2}{h^2} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \cos \left(n \pi \frac{z}{h} \right) e^{-n^2 \pi^2 Fo_w} + \frac{2W_n}{h^2} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \left(n \pi \frac{z}{h} \right) e^{-n^2 \pi^2 Fo_w} \cdot \int_0^h \cos \left(n \pi \frac{z}{h} \right) dz \right]; \quad (10)$$

$$\theta = \frac{W_n - W(z, \tau)}{W_n - W_k} = Ki_w \left[Fo_w - \frac{1}{6} \left(1 - 3 \xi^2 \right) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \cos \left(n \pi \xi \right) e^{-n^2 \pi^2 Fo_w} \right], \quad (11)$$

где $Ki_w = \frac{ih}{a_w \rho (W_n - W_k)}$ – массообменный критерий Кирпичева.

На рисунке 2 представлено решение краевой задачи нестационарного массообмена

на примере фрезерного торфа со следующими известными параметрами: $h = 0,12 \text{ м}$; $\rho = 74 \text{ кг / м}^3$; $a_w = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / \text{с}$; $W_n = 3,7 \text{ кг / кг}$; $W_k = 1,0 \text{ кг / кг}$; $i = 170 \cdot 10^{-6} \text{ кг / (м}^2 \cdot \text{с)}$.

Пусть существует слой почвы неограниченных размеров по координатным осям Ox и Oy (рис. 3), имеющий характерный линейный размер относительно оси Oz – толщину h , м. Начальная температура слоя почвы (в момент времени $\tau = 0$) равнозначна на координатном отрезке $z \in [0; h]$, м, и составляет t_n , °С. Под воздействием лучистого потока плотностью q , Вт / м^2 , происходит изменение температуры почвы по координате Oz в течение времени τ , с. Влияние на температурное поле слоя почвы также

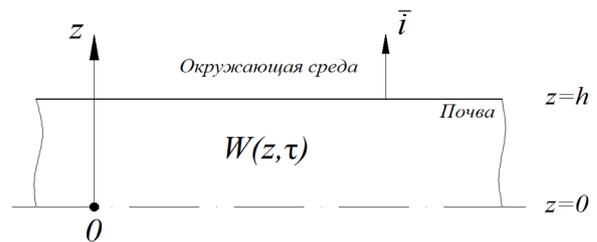


Рис. 1. Постановка краевой задачи массопереноса

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

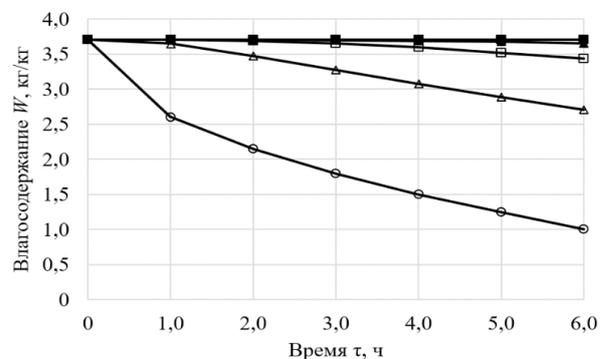


Рис. 2. Решение краевой задачи массопереноса:

■ – 0 см; ▲ – 6 см; □ – 8 см; △ – 10 см; ○ – 12 см
Fig. 2. Solution mass transfer boundary:
■ – 0 см; ▲ – 6 см; □ – 8 см; △ – 10 см; ○ – 12 см

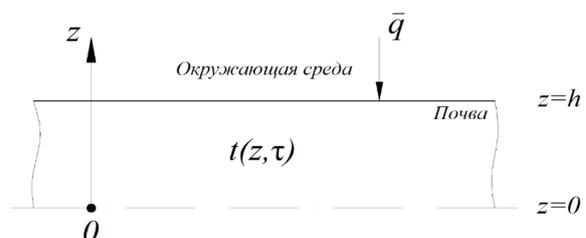


Рис. 3. Постановка краевой задачи теплопереноса

Fig. 3. Formulation of the boundary value problem of heat transfer

оказывает перемещение водяных паров, вызванное градиентом влагосодержания. Определить изменение температуры слоя почвы вида $t(z, \tau)$.

Часть теплового потока от инфракрасного излучателя, влияющая на изменение температурного поля почвы, рассчитывается через уравнение теплового баланса ее поверхности [13]:

$$q = \left(1 - \frac{A}{100}\right) q_{inf} - q_{vp} - q_{conv}, \text{ Вт / м}^2, \quad (12)$$

где A – альbedo деятельной поверхности почвы, %; q_{inf} – плотность теплового потока от источника инфракрасного излучения, Вт / м^2 ; q_{vp} – плотность теплового потока, расходуемая на испарение влаги с поверхности почвы (прямо пропорциональна интенсивности испарения влаги с поверхности почвы i), Вт / м^2 ; q_{conv} – плотность теплового потока в результате конвективного теплообмена между поверхностью почвы и окружающей средой, Вт / м^2 , определяемая по уравнению Ньютона.

Условия однозначности для постановки краевой задачи нестационарного теплообмена, которые учитывают изменение температурного поля почвы за счет как внешнего теплового воздействия, так и внутренних пародиффузионных процессов, будут иметь вид:

$$\frac{\partial t(z, \tau)}{\partial \tau} = a_t \frac{\partial^2 t(z, \tau)}{\partial z^2} + \frac{r\varepsilon}{c_m} \frac{\partial W}{\partial \tau} \quad (\tau > 0; 0 \leq z \leq h); \quad (13)$$

$$t(z, 0) = t_{\text{н}}; \quad (14)$$

$$\lambda \frac{\partial t(h, \tau)}{\partial z} + q = 0; \quad (15)$$

$$t(0, \tau) = t_{\text{н}}, \quad \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial z} = 0, \quad (16)$$

где λ – коэффициент теплопроводности почвы, $\text{Вт / (м} \cdot \text{К)}$.

Решение дифференциального уравнения (13) при начальных (14) и граничных (15), (16) условиях известно и имеет вид [12]:

$$\begin{aligned} t(z, \tau) = & t_{\text{н}} + \frac{qh}{\lambda} \left[Fo_t - \frac{1}{6} \left(1 - 3 \frac{z^2}{h^2}\right) + \right. \\ & \left. + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \cos\left(n\pi \frac{z}{h}\right) e^{-n^2 \pi^2 Fo_t} + \right. \\ & \left. + \frac{2t_{\text{н}} \lambda}{qh^2} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(n\pi \frac{z}{h}\right) e^{-n^2 \pi^2 Fo_t} \cdot \int_0^h \cos\left(n\pi \frac{z}{h}\right) dz \right] + \\ & + \frac{r\varepsilon}{c_m} \frac{Lu}{Lu-1} \frac{ih}{a_{\text{w}} \rho} \left\{ Fo_t - Fo_{\text{w}} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \cos\left(n\pi \frac{z}{h}\right) \times \right. \\ & \left. \times \left[e^{-n^2 \pi^2 Fo_t} - e^{-n^2 \pi^2 Fo_{\text{w}}} \right] - \frac{2W_{\text{н}} a_{\text{w}} \rho}{ih^2} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(n\pi \frac{z}{h}\right) \times \right. \\ & \left. \times \left[e^{-n^2 \pi^2 Fo_t} - e^{-n^2 \pi^2 Fo_{\text{w}}} \right] \cdot \int_0^h \cos\left(n\pi \frac{z}{h}\right) dz \right\}; \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T = \frac{t(z, \tau) - t_{\text{н}}}{t_{\text{к}} - t_{\text{н}}} = & Ki_t \left[Fo_t - \frac{1}{6} (1 - 3\xi^2) + \right. \\ & \left. + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \cos(n\pi \xi) e^{-n^2 \pi^2 Fo_t} \right] + \\ & + \frac{Ko^* Ki_{\text{w}} Lu}{Lu-1} \left\{ Fo_t - Fo_{\text{w}} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \cos(n\pi \xi) \times \right. \\ & \left. \times \left[e^{-n^2 \pi^2 Fo_t} - e^{-n^2 \pi^2 Fo_{\text{w}}} \right] \right\}, \quad (18) \end{aligned}$$

где $Ki_t = \frac{qh}{\lambda(t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}$ – теплообменный критерий Кирпичева.

На рисунке 4 представлено решение краевой задачи нестационарного теплообмена на примере фрезерного торфа со следующими известными параметрами: $h = 0,12 \text{ м}$; $\rho = 74 \text{ кг / м}^3$; $a_t = 14,84 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / \text{с}$; $\lambda = 0,302 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$; $c_m = 2,75 \cdot 10^4 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{К)}$; $r = 2,472 \cdot 10^6 \text{ Дж / кг}$; $\varepsilon = 0,1$; $t_{\text{н}} = 5^\circ\text{C}$; $t_{\text{к}} = 20^\circ\text{C}$; $q = 100 \text{ Вт / м}^2$.

На основе аналитического решения краевой задачи тепломассопереноса в размерном (10), (17) и безразмерном (11), (18) видах разработана программа для определения влажностного и температурного полей дисперсной среды по пространственно-временным координатам в математическом редакторе *Mathcad*.

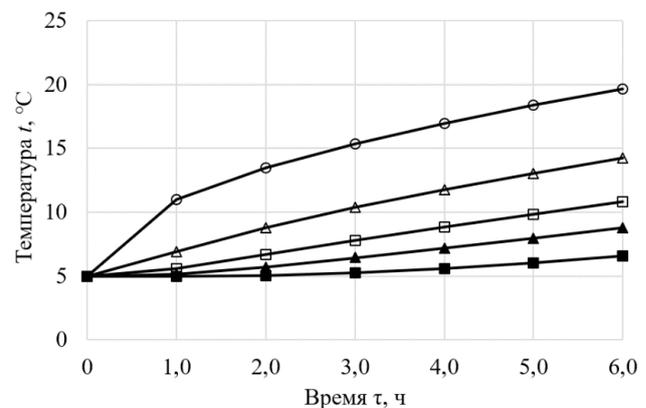


Рис. 4. Решение краевой задачи теплопереноса:

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

Fig. 4. Solution of the boundary value problem of heat transfer:

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

Выводы

Метод конечного интегрального преобразования Фурье, как и подобные аналитические методы решения задач нестационарного теплообмена, позволяет получать точные решения в виде алгебраических функций, которые без особых технических трудностей интегрируются в соответствующие проблемно-ориентированные программные продукты.

Кроме того, появляется возможность прогнозирования температурно-влажностного режима почвы по глубине ее залегания в течение определенного времени. Результаты программного решения краевой задачи тепломассопереноса методом конечного интегрального преобразования Фурье показали, что слой почвы толщиной $h = 0,12$ м достигнет конечных значений влагосодержания и температуры за 6 ч. При этом изменение влагосодержания практически отсутствует в течение рассматриваемого периода на координатном отрезке $z \in [0; 6, 0]$ см. Очевидно, что регулируя мощность инфракрасного излучения, можно добиться требуемого периода нагрева и сушки почвы с целью достижения соответствующих значений температуры и влагосодержания. При решении термической задачи учтено влияние переноса водяного пара в слое почвы на ее тепловой режим (в рассматриваемом примере поток водяного пара принят равным 10% от общего потока переносимой влаги).

В статье [7], посвященной решению краевой задачи тепломассопереноса методом источников, рассмотрены только основные явления,

влияющие на перенос энергии и вещества в дисперсной среде (например, массоперенос за счет разности влагосодержаний в двух координатах слоя почвы). Следовательно, данная задача вовсе не учитывала перекрестные явления, и дифференциальные уравнения решались независимо друг от друга, так как не имели функциональной связи. Метод конечного интегрального преобразования Фурье, представленный в данной работе, можно считать более совершенным подходом в решении сопряженной задачи тепломассообмена, поскольку он учитывает, кроме основных независимых друг от друга явлений, пародиффузионный процесс, вызванный переносом энергии водяного пара при его перемещении.

Таким образом, остается открытым вопрос решения краевой задачи, которая охватывала бы всю систему дифференциальных уравнений (1) и (2), не исключая какие-либо входящие в него слагаемые. Данным решением может стать метод (который в дальнейшем будет рассмотрен авторами) совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина.

Список использованных источников

1. **Pichev V.Yu.** Development of procedure for determination of characteristics of heated polycarbonate greenhouses // *International Research Journal*. 2021. № 2 (104). Pp. 132-135. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.2.025.
2. **Кабалоев Т.Х.**, Температурное поле тепличной почвы при термоэлектрическом способе нагрева / Гатуева К.К., Гокоев Т.М., Никколова Л.С. // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 55, № 4. С. 148-152.
3. **Махмаёров Б., Самаров Ш.** Температурные поля в почвах при различных режимах воздуха в теплицах // *Вестник Таджикского национального университета*. 2017. № 1. С. 145-149.
4. **Барановский Н.В.** Экспериментальное исследование режимов теплового воздействия на слой почвы при инертном прогреве / Максимов В.И., Разва А.С., Базаров А.В. // *Инженерно-физический журнал*. 2020. Т. 93, № 6. С. 1455-1460.
5. **Дородов П.В.** Применение инфракрасного нагрева при обеззараживании почвы в защищенном грунте и механизм распространения тепла / Пospelова И.Г., Возмищев И.В., Титов И.В. // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69, № 2 (47). С. 59-64.
6. **Туголуков Е.Н.** Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамбовского университета, 2005. 116 с.
7. **Павлов М.В., Карпов Д.Ф.** Решение краевой задачи тепломассопереноса методом источников для условий лучистого обогрева почвы // *Природообустройство*. 2023. № 4. С. 15-20.
8. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.

References

1. **Pichev V.Yu.** Development of procedure for determination of characteristics of heated polycarbonate greenhouses // *International Research Journal*. 2021.No. 2 (104). Pp. 132-135. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.2.025.
2. **Kabaloev T.H.**, The temperature field of greenhouse soil with a thermoelectric heating method / Gatuева K.K., Gokoyev T.M., Nikkolova L.S. // *Izvestiya Gorsky State Agrarian University*. 2018. Vol. 55, No. 4. pp. 148-152.
3. **Mahmayorov B., Samarov Sh.** Temperature fields in soils under different air regimes v greenhouses // *Vestnik of the Tadzhiick national University*. 2017. № 1. P. 145-149.
4. **Baranovskij N.V., Maksimov V.I., Razva A.S., Bazarov A.V.** Experimental study of thermal impact regimes on the soil layer at inert warming // *Engineering-physics journal*. 2020. Vol. 93, No. 6. P. 1455-1460.
5. **Dorodov P.V., Pospelova I.G., Vozmishchev I.V., Titov I.V.** Application of infrared heating in soil disinfection in protected soil and the mechanism of heat propagation. // *Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex*. 2022. Vol. 69, No. 2 (47). P. 59-64.
6. **Tugolukov E.N.** Solution of thermal conductivity problems by the method of finite integral transformations: Textbook. Tambov: Tambov University Publishing house, 2005. 116 p.
7. **Pavlov M.V., Karpov D.F.** The solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the method of sources for conditions of radiant heating of the soil // *Prirodoobustrojstvo*, 2023. No. 4. pp. 15-20.
8. **Lykov A.V.** Theory of thermal conductivity: textbook for universities. Moscow: Higher School, 1967. 600 p
9. **Pavlov M.V.** Investigation of heat and mass transfer processes in the soil layer on the example of milling peat

9. Павлов М.В. Исследование процессов тепло-массопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве: учебное пособие / Карпов Д.Ф., Сеницын А.А. и др. . Вологда: ВоГУ, 2015. 192 с.

10. Лыков А.В. Теория сушки: учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 1968. 472 с.

11. Куртнер Д.А., Усков И.Б. Климатические факторы и тепловой режим в открытом защищенном грунте. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 232 с.

12. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. 332 с.

13. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса: В 2 т. Т. 1. М.: Наука, 1973. 456 с.

Об авторах

Михаил Васильевич Павлов, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоводоснабжения; Author ID SCOPUS: 57204361039; WoS ResearcherID AAN-5773-2021; ORCID: 0000-0002-8687-3296; ID РИНЦ 564419; pavlovmv@vogu35.ru

Денис Федорович Карпов, старший преподаватель кафедры теплогазоводоснабжения; Scopus ID: 57210325021; WoS Researcher ID: AAF-2092-2021 ORCID: 0000-0002-3522-9302; karpovdf@vogu35.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

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

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 20.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.10.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.10.2023

with infrared radiant heating: textbook / Karpov D.F., Sinityn A.A. et al. Vologda: Vogtu, 2015. 192 p.

10. Lykov A.V. Theory of drying: textbook. manual for higher education institutions. M.: Energiya, 1968. 472 p.

11. Kurtener D.A., Uskov I.B. Climatic factors and thermal conditions in open protected ground. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982. 232 p.

12. Lykov A.V., Mihajlov Yu.A. Theory of energy and matter transfer. Minsk: Izd-vo AN BSSR, 1963. 332 p.

13. Kovda V.A. Fundamentals of the doctrine of soils. General theory of soil-forming process: In 2 vols. Vol. 1. Moscow, Nauka Publ., 1973. 456 p.

Author information

Mikhail V. Pavlov, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply; Author ID SCOPUS: 57204361039; WoS ResearcherID AAN-5773-2021; ORCID: 0000-0002-8687-3296; ID РИНЦ 564419; pavlovmv@vogu35.ru

Denis F. Karpov, Senior Lecturer at the Department of Heat and Gas Supply; Scopus ID: 57210325021; WoS Researcher ID: AAF-2092-2021 ORCID: 0000-0002-3522-9302; karpovdf@vogu35.ru

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

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-25-31>

УДК 631.432:627.5(470.311)



ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ГРУНТОВЫХ ВОД МАЛОЙ РЕКИ ЛОКНАШ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.С. Искричев[✉], Ю.Г. Безбородов, С.Н. Редников

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

Аннотация. Целью исследований являлась оценка уровня загрязненности почв и грунтовых вод водосборной площади малой реки. Для этого территория была районирована по целевому назначению земель и выявлено 4 категории: земли сельскохозяйственного назначения; земли водного фонда; земли лесного фонда; земли сельских поселений. Для оценки влияния каждой категории на загрязненность почв и вод были намечены створы по руслу малой реки. При исследовании определялись физико-химические и микробиологические показатели. Результаты исследований показали, что ввиду чрезмерной антропогенной нагрузки в грунтовых водах наблюдаются загрязнения по таким элементам, как фосфаты и нитраты. Кроме того, в почве наблюдается повышенный уровень содержания фосфора и общей закономерностью является содержание азота, фосфора, калия, а также то, что общая численность почвенных микроорганизмов снижается от истока к устью.

Ключевые слова: малая река, диффузное загрязнение, уровень загрязненности, почвы, грунтовые воды

Формат цитирования: Искричев Д.С., Безбородов Ю.Г., Редников С.Н. Оценка загрязнения почв и грунтовых вод малой реки Локнаш в Московской области // Природообустройство. 2024. № 1. С. 25-31. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-25-31>

Original article

ASSESSMENT OF SOIL AND GROUNDWATER POLLUTION OF THE SMALL LOKNASH RIVER IN THE MOSCOW REGION

D.S. Iskrichev[✉], Yu.G. Bezborodov, S.N. Rednikov

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

Abstract. The purpose of the study was to assess the level of contamination of soils and groundwater in the catchment area of a small river. For this purpose, the territory was zoned according to the intended purpose of the land and four categories were identified: agricultural lands, water fund lands, forest fund lands, and rural settlement lands. To assess the impact of each category on soil and water pollution, cross-sections were identified along the small river bed. The study determined physicochemical and microbiological parameters. Research results have shown that due to excessive anthropogenic load, groundwater is polluted with elements such as phosphates and nitrates. In addition, an increased level of phosphorus content is observed in the soil, and a general pattern is observed – the content of nitrogen, phosphorus, potassium, as well as the total number of soil microorganisms decreases from source to mouth.

Keywords: small river, diffuse pollution, pollution level, soils, groundwater

Format of citation: Iskrichev D.S., Bezborodov Y.G. Assessment of soil and groundwater pollution of the small Loknash River in the Moscow region // Prirodobustrojstvo. 2024. No 1. P. 25-31. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-25-31>

Введение. На территории России насчитывается 2,5 млн малых рек, на долю которых приходится 50% общего объема речного стока. В настоящее время экологическое состояние почвы в бассейнах малых рек, особенно Московской области, в результате резко возросшей антропогенной нагрузки оценивается как

неудовлетворительное: значительно сократился водный сток малых рек, часть из них уже исчезла, другие находятся на пороге исчезновения [1].

Под экологическим состоянием бассейна малой реки понимается возможность использования земельных ресурсов, расположенных в границах бассейна, для сельского хозяйства.

При этом основными источниками нарушения экологического равновесия малой реки являются состояние водосборной территории и присутствие на ней точечных и диффузных источников загрязнения [2].

В почвенном покрове Московской области в лесной зоне господствуют дерново-подзолистые почвы и подзолы. Значительные площади заняты болотно-подзолистыми почвами (подзолистые и дерново-подзолистые глееватые и глеевые) под влажными и сырыми хвойными и смешанными лесами. Под широколиственными лесами формируются серые лесные почвы (светло-серые, серые, темно-серые), при повышенном увлажнении – глееватые и глеевые. При увлажнении жесткими водами образуются дерновые темно-цветные, при близком залегании карбонатных пород – дерновые карбонатные почвы [3].

Сущность диффузного загрязнения заключается во внесении в подземные или поверхностные воды водосбора, загрязняющих веществ, микроорганизмов или тепла под влиянием хозяйственной деятельности [4]. Масштабы диффузного загрязнения малых рек оценить сложно. Можно лишь предположить, что загрязнению подвергаются в той или иной степени все малые реки, в бассейне которых имеет место хозяйственная деятельность.

Проблема диффузного загрязнения рек изучалась и ранее такими учеными, как А.В. Трофимов, В.М. Яшин, Л.В. Кирейчева. В своих работах они установили, что диффузный сток с сельскохозяйственных земель, а также с земель поселений оказывает значительное влияние на загрязнение рек. В частности, установлено, что загрязнение фосфатами происходит посредством сточных вод [5].

Основным методом выявления загрязнений является установление концентраций биогенных химических элементов в исследуемых пробах почв и грунтовых вод. Особенностью оценки уровня загрязнений бассейнов малых рек с зарегулированным стоком является необходимость отбора проб до гидротехнического сооружения и после него, так как водохранилище не только влияет на уровень и распределение влажности, но и является накопителем для химических элементов.

Цель исследований: выявление загрязнения почв и грунтовых вод в бассейне малой реки Локнаш Волоколамского района Московской области, изучение особенностей почв, подверженных влиянию зарегулированного стока малой реки.

Материалы и методы исследований. В соответствии с выбранной темой исследований был произведен выбор малой реки в Московской

области – такой, чтобы критериями для выбора водного объекта служили следующие параметры:

- достаточное количество агроландшафтов на протяжении течения малой реки, которое позволило бы сделать исследование релевантным для сельскохозяйственных угодий, находящихся в бассейнах малых рек Московского региона;

- наличие перелесков у истока реки, что позволило бы отделить влияние агроландшафтов от иных загрязнителей;

- наличие мест постоянного либо сезонного пребывания людей, что позволит отследить их антропогенное влияние на малую реку и агроландшафты, находящиеся ниже по течению.

Для дальнейшего исследования была выбрана река Локнаш в Волоколамском районе Московской области, так как она полностью соответствует указанным выше параметрам. Исследуемая малая река Локнаш протекает на территории Волоколамского района Московской области. В соответствии с почвенно-экологическим районированием территория исследуемого объекта относится к зоне дерново-подзолистых почв южной тайги, почвенно-биоклиматическая область – Европейско-Западно-Сибирская таежно-лесная.

Уникальность выбранной реки заключается в том, что, во-первых, она является водоприемником закрытой осушительной сети прилегающих к ней земель сельскохозяйственного назначения; во-вторых, сток реки зарегулирован и на ней имеется водохранилище сезонного регулирования; в-третьих, в ее бассейне располагаются 4 различные категории земель земельного фонда.

Исходя из вышеперечисленных признаков, можно утверждать, что исследования, проводимые на данном объекте, являются новыми. Бонитет почвенного покрова составляет 40 баллов. Структура земельных угодий распределена следующим образом: пашня – 29%; сенокосы – 4%; пастбища – 7%; леса – 50%; иные угодья – 9%. Был рассмотрен ближайший к исследуемому объекту почвенный разрез № 405 из профильной атрибутивной базы данных РФ [6]. В соответствии с данными о разрезе была составлена таблица средних показателей почвы разреза № 405 (табл. 1).

На исследуемой территории преобладают дерново-подзолистые почвы, которые являются более плодородными, чем подзолистые. Они не такие кислые, как подзолистые, и достаточно богаты гумусом.

Исток малой реки у деревни Богаиха впадает в Большую Сестру в 20 км от ее устья по правому берегу в районе деревни Малое

Стромилово, течет в глубокой долине по полям и перелескам. Русло извилистое, длина реки составляет 15 км (рис. 1). Рекогносцировочное и картографическое обследование реки Локнаш, проведенное в осенний период 2021 г., позволило определить 5 створов по течению реки, в которых в дальнейшем проводились исследования почв, прилегающих агроландшафтов и грунтовых вод. Между створами 2 и 3 река преобразуется в слабopоточное водохранилище, так как в районе 3 створа перекрыта земляной плотиной.

Данное водохранилище является постоянным местом неорганизованной рекреации

населения. Ниже по течению, между створами 4 и 5, расположено садовое некоммерческое товарищество, где система централизованного водоотведения отсутствует.

Бассейн реки, как и бассейны других рек, испытывает чрезмерную антропогенную нагрузку от различных источников загрязнения [4]. Водосборная территория бассейна р. Локнаш (рис. 2) составляет 2995,25 га, из них земли сельскохозяйственного назначения – 826,38 га, земли поселений – 161,66 га, земли водного фонда – 47,58 га, земли особо охраняемых территорий (ООТ) – 4,82 га. Остальную

Таблица 1. Средние показатели почвы разреза № 405

Table 1. Average soil indicators of the section No. 405

Глубина отбора проб, см <i>Sampling depth, cm</i>	Общий азот, мг/кг <i>Total nitrogen, mg/kg</i>	pH солевой <i>pH saline</i>	Плотность почвы, г/см ³ <i>Soil density, g/cm³</i>
0-15	200	4,6	1,11
15-25	220	4,2	1,30
25-30	340	4,3	1,34
30-47	20	4,2	1,51
47-77	10	4,0	1,59
77-130	10	4,2	1,62

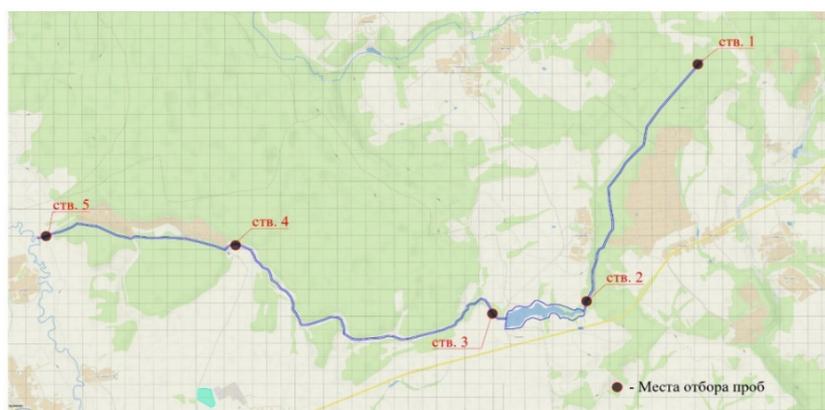


Рис. 1. Район обследования реки Локнаш

Fig. 1. Loknash River Survey Area

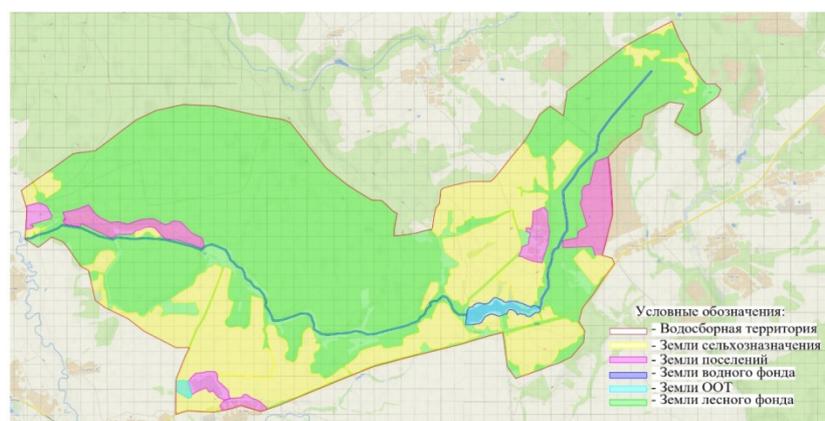


Рис. 2. Схема водосбора р. Локнаш

Fig. 2. Scheme of water catchment area of the Loknash River

площадь занимают леса и перелески, которые относятся к землям лесного фонда.

Для оценки характеристик грунтовых вод в весенне-летний период 2022 г. произведен отбор проб в створах 2, 3 и 5. Отбор проб производился в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Определяли показатели нитратов и фосфатов. Исследования проводились в лабораторных условиях, методологическую основу испытаний составляли ПНД Ф 14.1:2:4.4-95, ПНД Ф 14.1:2:4.248-07.

Анализировали результаты испытаний, руководствуясь СанПиН 1.2.3685-21 [7], интерпретировали их по публикации Г.Н. Голубева [3], а также в соответствии с указаниями Роспотребнадзора [8].

Чтобы оценить состояние почв в створах по течению реки Локнаш, были взяты пробы почв в створах 2, 3 и 5, а также произведены почвенно-мелиоративные изыскания в створах 2-5 (рис. 1). При исследовании почв определялись следующие физико-химические показатели: общий азот, обменный калий, подвижные соединения фосфора, рН, общая численность почвенных микроорганизмов, гранулометрический состав, влажность и плотность почв. Характерным для водорастворимых соединений дерново-подзолистых почв является значительное преобладание органических веществ над минеральными. Это указывает на большую подвижность перегнойных соединений, которая обусловлена их составом, а также на обедненность дерново-подзолистых почв основаниями, главным образом – кальцием, магнием и натрием.

Сульфаты магния и натрия являются компонентами засоленных почв, которые требуют промывки или других видов мелиорации. В условиях формирования дерново-подзолистых почв при промывном водном режиме определять наличие сульфатов на объекте исследований авторы не стали. Наличие хлоридов, аммония, обменного и водорастворимого натрия в дерново-подзолистых почвах наблюдается в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик. Таких объектов в бассейне реки Локнаш нет. Несмотря на это, авторы произвели анализ взятых проб в указанных выше створах на наличие в донных отложениях иона-хлорида. Во всех створах содержание иона-хлорида было одинаковым – 0,2 ммоль / 100 г.

Исследования проб проводились в лабораторных условиях, во всех створах производились прикопки в соответствии с нормативно-методическим указаниями. Для определения плотности почв использовался метод Качинского, термостатно-весовым методом определяли влажность почв, агрегатный состав определен методом сухого

просеивания. Химические показатели определяли по ГОСТ Р 58596-2019 г., ГОСТ Р 26210-91 1992 г. и ФР.1.31.2015.209582015 г. Общая численность микроорганизмов определена в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.3695-21. Раздел VII, п. 7.1. Результаты оценивали по Г.В. Мотузовой и О.С. Безугловой, а также по Г.П. Гамзикову.

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований отобранных проб грунтовых вод обнаружено превышение допустимых для природных вод показателей по нитратам в створе 3 (табл. 2) [9].

Массовая доля нитратов в чистой природной воде не превышает 9 мг/дм³ [9]. Такое локальное превышение в одном из створов может свидетельствовать о том, что на прилегающих агроландшафтах используют нитратные удобрения, которые через почву попадают в грунтовые воды. Массовая доля фосфатов в отобранных пробах также превышает допустимые показатели для природных вод (0,01 мг/дм³). Превышение по фосфатам в грунтовых водах (0,0163-0,03 мг/дм³) ниже, чем в сточных водах (0,146-0,52 мг/дм³). Это может говорить о том, что фосфаты из сточных вод все же попадают в грунтовые, однако значительная их часть задерживается почвой либо попадает в поверхностные воды вместе со стоком.

Почва в бассейне малой реки Локнаш, отобранная в створах, является преимущественно дерново-подзолистой. Значительно отличается по результатам сухого просеивания от остальных почва в створе 4, где преобладает мелкий песок, тогда как в других створах большую часть составляют крупный песок и мелкий гравий (табл. 3).

Результат измерений плотности почв показал, что почвы во всех створах переуплотнены, плотность увеличивается с глубиной, в слое 0-20 см почвы менее плотные, чем в слое 20-50 см (рис. 3). Самая переуплотненная почва – в створе 3, что характерно для почвы, на которой осуществляется сельскохозяйственная

Таблица 2. Среднее содержание индикаторов в грунтовых водах водосбора реки Локнаш

Table 2. Average content of indicators in groundwater of the Loknash River catchment area

Створ № Section No	Нитраты, мг/дм ³ Nitrates, mg / dm ³	Фосфаты, мг/дм ³ Phosphates, mg/dm ³
2	0,75	0,03
3	8,9	0,04
5	1,57	менее 0,0163

деятельность. В данном створе находятся действующие сельскохозяйственные угодья, которые участвуют в интенсивном сельскохозяйственном производстве. Сравнивая показатели с данными по разрезу № 405, стоит отметить, что плотность в нашем случае в 4 из 5 створов выше, чем на вышеуказанном разрезе.

Переуплотненная почва оказывает большое сопротивление корням растений. В плотные почвы плохо проникает вода, затрудняется воздухообмен между почвенным и атмосферным воздухом, ухудшается деятельность микроорганизмов. Все это ведет к снижению урожайности и уровня биологической самоочистки почв от загрязнений. Плотность почвы в пахотном слое в разрезе № 405 (табл. 1) составляет $1,11 \text{ мг/см}^3$. Почвы в бассейне реки Локнаш и в пределах разреза № 405 – дерново-подзолистые и однородные по свойствам с почвами исследуемого бассейна малой реки [6]. Оптимальная плотность для большинства сельскохозяйственных культур составляет $1-1,2 \text{ г/см}^3$ [9].

Результаты измерения влажности почв (рис. 4) позволяют обнаружить зависимость между сниженным уровнем влажности и высокой плотностью почв в створе 3. Влага из пахотного слоя в сниженном количестве попадает в подпахотный слой, так как большая ее часть испаряется, причиной чего является переуплотненность почв. Также наблюдается особенность данной малой реки, обусловленная в первую очередь зарегулированным стоком, а именно наличием водохранилища и плотины. Влияние данного гидротехнического сооружения можно наблюдать на показателях влажности почвы. Выше по течению реки (створы 1 и 2) влажность заметно выше, чем сразу же после плотины (створ 3). В створах 3 и 4 влажность заметно ниже, чем в створе 5. Это можно объяснить тем, что по течению реки между створами 4 и 5 находится поселение, в котором отсутствует центральная система водоотведения, а также в непосредственной близости к створу 5 располагается садовое некоммерческое товарищество.

Таким образом, в створе 3 наблюдается сниженный по сравнению с другими створами уровень влажности. В данном створе влага наиболее необходима, что говорит о востребованности проведения мелиоративных мероприятий, направленных на снижение плотности почвы в данном створе.

Считаем, что именно мероприятия по снижению плотности почвы положительно скажутся и на уровне влажности. В данном случае актуальным является использование мелиоративных мероприятий (например, мульчиро-

вания), направленных на снижение плотности почв [10].

Наряду с физическими свойствами почв большой интерес с точки зрения мелиорации и сохранения свойств малой реки как водосточника представляют содержание химических веществ и уровень биологической активности почвы (табл. 4). В качестве индикатора загрязненности почв использовались показатели содержания азота, фосфора и калия [5]. Для оценки уровня биологической активности почвы определяли общую численность почвенных микроорганизмов (ОМЧ) [11].

Таблица 3. Результат сухого просеивания почвы в бассейне реки Локнаш

Table 3. Result of dry sifting in the Loknash river basin

Слой 0-20 см / Layer 0-20 cm					
Сито, мм Sieve, mm	Створ 1 Section 1	Створ 2 Section 2	Створ 3 Section 3	Створ 4 Section 4	Створ 5 Section 5
10	35%	31,5%	16%	4%	6,5%
7	12,5%	14%	20,5%	3%	16,5%
5	11,5%	13%	20%	4%	17,5%
3	14,5%	15%	19,5%	5,5%	22,5%
1	18,5%	16%	16%	6,5%	32%
0,5	2,5%	1,5%	2%	3%	1%
0,25	2,5%	1%	2,5%	7,5%	2,5%
<0,25	3%	8%	3,5%	66,5%	1,5%
Слой 20-50 см / Layer 20-50 cm					
Сито, мм Sieve, mm	Створ 1 Section 1	Створ 2 Section 2	Створ 3 Section 3	Створ 4 Section 4	Створ 5 Section 5
10	29%	13%	34,5%	13%	7,5%
7	14,5%	15%	15,5%	3,5%	10%
5	11,5%	19%	13%	4,5%	16%
3	15,5%	21%	15%	6,5%	25%
1	20,5%	19%	16,5%	10,5%	34%
0,5	4,5%	1,5%	1,5%	3,5%	4,5%
0,25	2%	1%	0,5%	14,5%	1,5%
<0,25	2,5%	10,5%	3,5%	44%	1,5%

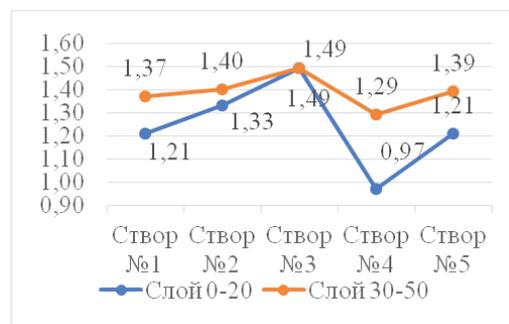


Рис. 3. Плотность почв в исследуемых створах реки Локнаш
Fig. 3. Soil density in the studied sections of the Loknash River

Наблюдается высокий уровень азота во всех створах. Сопоставляя показатели уровня содержания азота с разрезом № 405, можно отметить, что уровень азота в слое 0-15 составляет 200 мг/кг, тогда как в наших створах – 170-190,



Рис. 4. Процентное соотношение всей почвенной влаги к сухому грунту в бассейне реки Локнаш

Fig. 4. Percentage of all soil moisture to dry soil in the Loknash River basin

Таблица 4. Результат анализа почв в бассейне реки Локнаш

Table 4. Results of the soils analysis in the Loknash River basin

Створ № Section	Общий азот, мг/кг Total nitrogen, mg/kg	Обменный калий, мг/кг Exchangeable potassium, mg/kg	Подвижные соединения фосфора, мг/кг Mobile phosphorus compounds, mg/kg	Общая численность почвенных микроорганизмов (ОМЧ), КОЕ/г Total number of soil microorganisms (TNM), COE/g	pH, ед. pH, unit
2	190	111	172	37500	5,78
3	170	78	235	29500	5,64
5	180	56	109	26000	5,60

Выводы

Результаты исследований почв и грунтовых вод в бассейне малой реки Локнаш, проведенных в весенний период 2022 г., показали, что ввиду чрезмерной антропогенной нагрузки в грунтовых водах наблюдается превышение допустимого для природных вод уровня концентраций по таким элементам, как фосфаты и нитраты. На основании наличия в бассейне реки сразу нескольких категорий земель, а также с учетом научных публикаций на данную тему выдвинуто предположение того, что малая река подвергается загрязнению, связанному с хозяйственной

и это лишь незначительно ниже уровня сравняемого разреза. Уровень фосфора в створах 2 и 3 является высоким, в створе 5 уровень повышенный, но также находится выше средних значений (50-100 мг/кг) [1].

Совсем иной является ситуация с содержанием калия в исследуемых пробах. В створе 2 калий находится на среднем уровне, в створах 3 и 4 уровень калия низкий, что говорит о том, что загрязнения калием не наблюдается [12]. Примечательно, что уровень калия снижается от истока к устью. Биологическая активность почвы указывает на ее способность к самоочищению. Примечательно то, что уровень ОМЧ увеличивается пропорционально калию, уменьшается от истока к устью.

Практическая значимость данных исследований заключается в том, что дальнейшие их результаты и способы проведения можно использовать в бассейнах других малых рек России, которых насчитывается около 2,5 млн.

деятельностью человека. Основная нагрузка на реку Локнаш по фосфору, фосфатам и азоту приходится на загрязнения, поступающие с сельскохозяйственных угодий посредством диффузного стока. Дальнейшие межгодовые и межсезонные исследования позволят достоверно установить корреляционные зависимости между исследуемыми показателями, а также обосновать мелиоративные мероприятия в бассейне малой реки Локнаш. Важной особенностью малой реки Локнаш является годовое регулирование стока плотинами, что повлияло на уровень влажности почв.

Список использованных источников

1. Воронин А.В., Киселева С.П., Рыков С.В. Экологические проблемы использования малых рек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2007. № 3. С. 74-77. EDN JWKDWX.
2. Селезнев В.А. Комплексная оценка экологического состояния малых рек (на примере реки Подстепновки) / Селезнева А.В., Рахуба А.В. и др. // Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 83-100.
3. Голубев Г.Н. Геоэкология: учебник для студентов вузов. М.: ГЕОС, 1999. 338 с.

References

1. Voronin A.V., Kiseleva S.P., Rykov S.V. Ecological problems of the use of small rivers. Series: Ecology and life safety. // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. 2007. № 3. P. 74-77. – EDN JWKDWX.
2. Seleznev V.A., Selezneva A.V., Rakhuba A.V. [et al.] Comprehensive assessment of the ecological state of small rivers (on the example of the Podstepnovka River) // Water Economy of Russia. 2018. № 6. P. 83-100.
3. Golubev G.N. Geoecology. Textbook for university students. Moscow, GEOS Publ., 1999. 338 p.

4. Слабунова А.В., Суrowикина А.П. О проблеме диффузного загрязнения водных объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2. С. 124-139.

5. Кирейчева Л.В. Оценка диффузного загрязнения биогенными веществами с сельскохозяйственных угодий в бассейне реки Яхромы (Московская область) / Яшин В.М., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д. // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сборник научных трудов. Нижний Новгород: Студия Ф1, 2019. С. 379-384. EDN FRXPCC.

6. Профильная атрибутивная база данных РФ // Информационная система «Почвенно-географическая база данных России». URL: <https://soil-db.ru/map/profiles>.

7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. docs.cntd.ru/document/573500115.

8. ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в республике Адыгея». URL: <https://fbuz01.rosпотребнадзор.ru/dlya-grazhdan/konsultatsionnyy-tsentr/nitraty-v-vode-eto-opasno/>.

9. Кузнецова Я.В. Определение нитратов в поверхностной воде потенциометрическим методом // Наука молодых: Материалы Региональной межвузовской студенческой научно-практической конференции (г. Орел, 18 июня 2021 г.). Орел: Изд-во Картуш, 2021. С. 193-198. EDN SAYINU.

10. Бешкильцева Т.А. Влияние плотности почвы на продуктивность зерновых культур // Агро-21. 2007. № 1-3. С. 42-44. EDN IAKWVN.

11. Безбородов Ю.Г., Безбородов Г.А., Безбородов А.Г. Ресурсосберегающие технологии орошения: монография. М.: РГАУ-МСХА, 2016. 195 с. ISBN 978-5-9675-1527-9

12. Минеев В.Г. Тенденции изменения калийного состояния почв и экологические функции калия почвы и калийных удобрений // Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений: материалы научно-практической конференции. М.: ЦИНАО, 2002. С. 8-20. EDN VZQTZN.

Об авторах

Даниил Сергеевич Искричев, аспирант, iskri4ev@mail.ru

Юрий Германович Безбородов, д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства; <https://orcid.org/0000-0001-5293-2342>; ubezborodov@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Редников, д-р техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; ORCID: 0000-0003-3435-7166; SCOPUS: 57170810400; srednikov@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Искричев Д.С., Безбородов Ю.Г. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Criteria of authorship

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 29.05.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review vided 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

4. Slabunova A.V., Surovikina A.P. On the problem of diffuse pollution of water objects // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 2. P. 124-139.

5. Kireycheva L.V., Yashin V.M., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D. Assessment of diffuse pollution by biogenic substances from agricultural lands in the basin of the Yakhroma River (Moscow region) // Scientific problems of improvement of Russian rivers and ways of their solution: collection of scientific works. Nizhny Novgorod: Studio F1, 2019. P. 379-384. – EDN FRXPCC.

6. Profile attributive database of the Russian Federation // Information System Soil-Geographic database of Russia URL: <https://soil-db.ru/map/profiles>

7. SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans” docs.cntd.ru/document/573500115

8. “Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Adygea” URL: <https://fbuz01.rosпотребнадзор.ru/dlya-grazhdan/konsultatsionnyy-tsentr/nitraty-v-vode-eto-opasno/>

9. Kuznetsova Ya.V. Determination of nitrates in surface water by the potentiometric method // Science of the young: materials of the regional interuniversity student scientific and practical conference, Orel, June 18, 2021. Orel: Kartouch Publ., 2021, pp. 193-198. – EDN SAYINU.

10. Beshkiltseva T.A. Influence of soil density on the productivity of grain crops // Agro 21. 2007. № 1-3. P. 42-44. – EDN IAKWVN.

11. Bezborodov Yu.G., Bezborodov G.A., Bezborodov A.G. Resource-saving irrigation technologies: Monograph. Moscow, RSAU-MSHA Publ., 2016. 195 p. ISBN978-5-9675-1527-9

12. Mineev V.G. Tendencies of changes in the potassium state of soils and ecological functions of potassium soil and potassium fertilizers // Ecological and agrochemical assessment of the state of the potassium regime of soils and the efficiency of potassium fertilizers: materials of scientific and practical conference. Moscow, TSINAO Publ., 2002. P. 8-20. – EDN VZQTZN.

Author information

Daniil S. Iskrichev, postgraduate student of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management; iskri4ev@mail.ru

Yuri G. Bezborodov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management <https://orcid.org/0000-0001-5293-2342>; ubezborodov@rgau-msha.ru

Sergey N. Rednikov, doctor of technical sciences, associate professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; Leader 4328126; ORCID: 0000-0003-3435-7166; SCOPUS: 57170810400; srednikov@mail.ru

Iskrichev D.S., Bezborodov Y.G., Sergey N. Rednikov performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-32-41>

УДК 631.4:633.34:631.67



ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОЛИВНОГО ПОРОГА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КОРМОВУЮ ЦЕННОСТЬ СОИ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

М.Г. Загоруйко^{1✉}, М.Е. Бельшкينا¹, Н.П. Попова², Т.П. Кобозева¹¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия² Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. Представлены результаты вегетационного и полевого опытов по влиянию условий влагообеспеченности на продуктивность и кормовую ценность сои сорта Магева. Установлено, что условия влагообеспеченности являются важным фактором в регулировании уровня симбиотической азотфиксации и продукционного процесса у сои. Повышение предполивной влажности почвы с 40 до 60% ППВ (предельная полевая влагоемкость) позволяет существенно повысить продуктивность культуры: урожайность – с 4,11 до 7,64 г/сосуд; сбор белка с урожаем семян – с 8,04 до 16,50 г/сосуд; незаменимых аминокислот – с 5,22 до 10,70 г/сосуд, или в 1,81-2,05 раза; сбор жира – с 2,34 до 4,37 г/сосуд, или в 1,68-1,85 раза; сбор кормовых единиц – с 28,77 до 53,48 г/сосуд, или в 1,69-1,86 раза. В полевом опыте при оптимальной тепло- и влагообеспеченности урожайность составляет 2,71 т/га, уровень симбиотической азотфиксации достигает 208 кг/га, что покрывает 96% потребности растений в азоте. Избыточная и особенно недостаточная влагообеспеченность существенно снижает показатели продуктивности: урожайность – в 1,08-1,84 раза; сбор белка – в 1,14-1,62 раза; сбор незаменимых аминокислот – в 1,13-1,60 раза; лизина – в 1,12-1,61 раза; сбор жира – в 1,04-1,42 раза, ненасыщенных жирных кислот – в 1,03-1,41; сбор кормовых единиц – в 1,101,80 раза; уровень симбиотической азотфиксации – до 33-79%, или в 1,29-2,90 раза.

Ключевые слова: соя, предполивной порог влажности почвы, урожайность, белок, незаменимые аминокислоты, жир, кормовые единицы, инокуляция, ризоторфин, симбиотическая азотфиксация, симбиоз, симбиотический потенциал, фотосинтез, фотосинтетический потенциал

Формат цитирования: Загоруйко М.Г., Бельшкينا М.Е., Попова Н.П., Кобозева Т.П. Влияние предполивного порога влажности почвы на продуктивность и кормовую ценность сои на мелиорированных землях // Природообустройство. 2024. № 1. С. 32-41. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-32-41>

Original article

INFLUENCE OF THE PRE-IRRIGATION THRESHOLD OF SOIL MOISTURE ON THE PRODUCTIVITY AND FEED VALUE OF SOYBEANS ON RECLAIMED LANDS

M.G. Zagoruiko^{1✉}, M.E. Belyshkina¹, N.P. Popova², T.P. Kobozeva¹¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia² All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov, 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, buil. 2, Russia.

Abstract. The results of vegetation and field experiments on the influence of moisture conditions on the productivity and feed value of Mageva soybeans are presented. It is established that the conditions of moisture availability are an important factor in regulating the level of symbiotic nitrogen fixation and the production process in soybeans. Increasing the pre-irrigation soil moisture from 40 to 60% PPV (maximum field moisture capacity) can significantly increase crop productivity: yield from 4.11 to 7.64 g/vessel, protein harvesting with seed yield from 8.04 to 16.50 g/vessel, essential amino acids from 5.22 to 10.70 g/vessel or 1.81-2.05 times; fat collection – from 2.34 to 4.37 g/vessel, or 1.68-1.85 times, collection of feed units from 28.77 to 53.48 g/vessel or 1.69-1.86 times. In the field experiment, with

optimal heat and moisture availability, the yield is 2.71 t/ha, the level of symbiotic nitrogen fixation reaches 208 kg/ha, which covers 96% of the nitrogen needs of plants. Excessive and especially insufficient moisture supply significantly reduce productivity indicators: yield – by 1.08-1.84 times, protein collection by 1.14-1.62 times, collection of essential amino acids – by 1.13-1.60 times, lysine – by 1.12-1.61 times, fat collection – by 1.04-1.42 times, and unsaturated fatty acids – by 1.03-1.41, collection of feed units – 1.10-1.80 times, the level of symbiotic nitrogen fixation up to 33-79% or 1.29-2.90 times.

Keywords: soybean, pre-irrigation threshold of soil moisture, yield, protein, essential amino acids, fats, feed units, inoculation, rhizotorphin, symbiotic nitrogen fixation, symbiosis, symbiotic potential, photosynthesis, photosynthetic potential

Format of citation: Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Popova N.P., Kobozeva T.P. Influence of pre-irrigation threshold of soil moisture on productivity and feed value of soybeans on reclaimed lands // Prirodoobustrojstvo. 2024. № 1. P. 32-41. <https://doi.org/0.26897/1997-6011-2024-1-32-41>

Введение. В настоящее время увеличение производства сои в Российской Федерации имеет важное экономическое и социальное значение. Благодаря уникальному химическому составу соя широко используется в различных отраслях народного хозяйства, и в первую очередь – в пищевой и кормовой промышленности [1]. По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2019 г. Российская Федерация занимала 8-е место в мире по производству семян сои [2]. Однако соя остается довольно сложной культурой для выращивания, средняя урожайность которой по стране с 2019 г. по настоящее время составляет 1,57-1,59 т/га при потенциально возможной урожайности большинства современных сортов 2,0-3,0 т/га и выше.

Реализация продукционного потенциала сои определяется в первую очередь условиями вегетации, агротехникой и сортовыми особенностями культуры, что создает немало сложностей при ее выращивании как в обычных, так и в специализированных севооборотах [3, 4]. Именно поэтому технологии возделывания сои ежегодно совершенствуются, подстраиваясь под определенные условия не только региона, но и отдельного хозяйства, определяя адаптивно-ландшафтные принципы ведения соеводства.

Благодаря такому подходу более 30 лет назад для условий Центрального и Южного Нечерноземья отечественными учеными были созданы сорта сои северного экотипа, которые позволили, используя природно-ресурсный потенциал территории, выращивать сою до 56° северной широты включительно. Изучение перспективы широкой интродукции сои северного экотипа в Нечерноземье позволит расширить кормовую базу для создания полноценных, богатых незаменимыми аминокислотами кормов, используемых в животноводстве, птицеводстве и рыбоводстве [5].

Одной из проблем в выращивании сои, в том числе в Нечерноземье, является требовательность этой культуры к условиям

влагообеспеченности [6, 7]. До наступления фазы цветения соя сравнительно неплохо переносит почвенные и воздушные засухи. Критический период по водопотреблению приходится на фазу цветения-налива бобов, что по календарным датам соответствует июлю – началу августа, то есть самому жаркому периоду в Нечерноземье. Недостаток влаги в эти фазы развития и роста крайне негативно сказывается на работе ассимиляционного и симбиотического аппаратов сои, и в итоге – на величине и качестве урожая [8, 9].

Устранить последствия недостаточного влагообеспечения в критический период практически невозможно: происходит активный лизис клубеньков, наблюдается ранний отток ассимилятов из листьев, что приводит к их преждевременному сбрасыванию, большое количество завязавшихся бобов abortируется.

Проблема регулирования водного режима сои северного экотипа становится более актуальной на фоне изменений климата в сторону аридизации, в том числе в ряде районов Нечерноземной зоны. Поэтому целью наших исследований стало обоснование нижнего порога оптимальной влажности почвы для получения возможных высоких сборов кормовых единиц с урожаем зерна сои при симбиотрофном типе питания азотом.

Материалы и методы исследований. Опыты (вегетационные и полевые) проводили на опытном поле ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» в период с 2008 по 2021 гг. на сорте сои Магева (оригинатор сорта – Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ») и ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Влияние предполивного порога влажности почвы на урожайность и кормовую ценность зерна сои изучали в вегетационном опыте в сосудах

со стеклянной скошенной стенкой при симбиотрофном типе питания азотом по методике Г.С. Посыпанова. При этом предполивной порог влажности в вариантах опыта составлял 40, 50 и 60% от ППВ – предельной полевой влагоемкости (ППВ по А.П. Розову – предельное количество влаги, которое может удержать почва в подвешенном состоянии) [10]. Оценку фотосинтетической деятельности посевов, продуктивности и кормовой ценности сои производили в девятипольном севообороте в условиях естественной влагообеспеченности. Закладка опытов и обработка результатов исследований осуществлялись в соответствии со стандартными апробированными методиками [11, 12].

Инокуляцию семян проводили непосредственно перед посевом ризоторфином – бактериальным препаратом, созданным на основе комплиментарного штамма клубеньковых бактерий 6356 *Rhizobium japonicum*.

Величину симбиотического аппарата выражали через общий (ОСП) или активный (АСП) симбиотический потенциал – произведение средней за вегетационный период сырой массы (всех или активных) клубеньков с 1 га посева на продолжительность их функционирования в днях. Интенсивность процесса рассчитывали по удельной активности симбиоза (УАС), то есть по количеству азота, г, фиксированного из воздуха за сутки 1 кг сырых активных клубеньков.

Условия влагообеспеченности оценивали в критический период водопотребления (от начала цветения до полного налива семян) по величине гидротермического коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК). При этом были выделены годы с недостаточной (ГТК – 0,6-0,8),

оптимальной (ГТК – 0,9-1,1) и избыточной (ГТК – 1,2-1,7) влагообеспеченностью. Сумма активных температур в годы исследований была достаточной для вызревания посевов и варьировала от 1700 до 2100°C.

Биохимический анализ семян проводился во ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои (г. Благовещенск) на установке NIR-42.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований установлено, что всходы сои появляются в среднем на 8-й день после посева, начало цветения наблюдается на 30-35 дни, полная спелость – на 68-78 дни после появления всходов, вегетационный период составляет 76-86 дней при сумме активных температур 1564-1662°C (табл. 1).

Установлено, что цветение наступает тем раньше (в среднем по опыту на 3-5 дней), чем ниже порог предполивной влажности почвы. Эта разница возрастает к фазе полной спелости и составляет 8-10 дней. В целом периодическое снижение влажности почвы до 40-50% ППВ (влажности разрыва капилляров) на 8-10 дней сокращает период от посева до полной спелости.

Известно, что симбиотическая азотфиксация – микробно-опосредованный процесс, преобразующий газообразный азот в аммиак с помощью белкового комплекса нитрогеназы [13]. Азотфиксация – важнейший на планете процесс, позволяющий направить неорганические соединения азота на биосинтез аминокислот, белков, нуклеиновых кислот и др.

Рост, развитие и отмирание симбиотического аппарата при разных уровнях предполивного порога влажности почвы наблюдали в сосудах

Таблица 1. Продолжительность вегетации и межфазных периодов сои в зависимости от условий влагообеспеченности, сорт Мажева, вегетационный опыт (в среднем за 3 года)

Table 1. Duration of vegetation and interphase periods of soybeans, depending on the conditions of moisture availability, Mageva variety, vegetation experience (on average for 3 years)

Период <i>Period</i>	Влажность почвы, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>		
	40	50	60
Посев-всходы, дней / <i>Sowing-sprouting, days</i>	8	8	8
Всходы-цветение (начало), дней / <i>Sprouting-flowering (beginning), days</i>	30	33	35
Цветение-полная спелость, дней / <i>Flowering – full ripeness, days</i>	38	41	43
Всходы-полная спелость, дней / <i>Sprouting-full ripeness, days</i>	68	74	78
Посев-полная спелость, дней / <i>Sowing-full ripeness, days</i>	76	82	86
Сумма активных температур за вегетационный период, °C <i>Sum of active temperatures during the vegetation period, °C</i>	1564	1624	1662

со скошенной стеклянной стенкой. В ходе наблюдений установлено, что первые клубеньки на корнях образуются на 7-й день после появления всходов, на 10-й день в них появляется леггемоглобин, означающий начало азотфиксации (табл. 2).

Число и масса клубеньков увеличиваются до фазы полного налива семян, затем постепенно снижаются, и к фазе полной спелости симбиотический аппарат полностью разрушается.

Установлено, что клубеньки на корнях размещаются достаточно компактно. Большая их часть (98%) сосредоточена в верхнем (0-10 см) слое почвы в радиусе 10-12 см от главного корня. Объясняется это тем, что ризоторфин, нанесенный на семена, инфицирует зародышевый и верхние боковые корни. Инфицирования же периферийной корневой системы не происходит, поскольку в почве Нечерноземной зоны аборигенные клубеньковые бактерии отсутствуют.

В регионах с продолжительным периодом соеяния клубеньки у сои размещены по корневой системе более равномерно, но все равно большая их часть расположена в верхних, хорошо аэрируемых горизонтах, хотя сам процесс восстановления азота, осуществляемый ферментной системой нитрогеназы, является анаэробным. Анаэробные условия для нитрогеназы

обеспечивает леггемоглобин, обладая высоким сродством с кислородом [14].

Режим полива оказывает существенное влияние на симбиотический процесс. Установлено, что продолжительность активного симбиоза (количество дней от появления первых активных клубеньков до их полного отмирания) тем больше, чем больше воды получает растение. В варианте с предполивным порогом влажности 40% ППВ он составляет 41 день, при увеличении предполивного порога до 50% ППВ – 57 дней (на 16 дней больше), при влажности перед поливом 60% ППВ – 62 дня (на 21 день больше), или в 1,22-1,40 раза соответственно.

По мере улучшения условий влагообеспеченности возрастает число клубеньков в 1,22-1,40 раза, их масса – в 1,57-1,85 раза, активный симбиотический потенциал (АСП) – в 1,182,80 раза. При этом доля крупных, диаметром более 5 мм клубеньков в общем их количестве увеличивается в 2,00-4,00 раза и составляет в варианте с предполивной влажностью почвы 40% ППВ – 16%; при 50% ППВ – 33%; при 60% ППВ – 64% (рис. 1).

С увеличением предполивного порога влажности почвы возрастает масса листьев и стеблей на фоне уменьшения массы корней и их доли в общей массе растений (рис. 2). Так, в варианте с поливом при влажности 40% ППВ

Таблица 2. Показатели симбиотической деятельности сои в зависимости от условий влагообеспеченности, сорт Магева, вегетационный опыт (в среднем за 3 года)

Table 2. Indicators of symbiotic activity of soybeans depending on the conditions of moisture availability, Mageva variety, vegetation experience (on average for 3 years)

Показатель <i>Indicator</i>	Влажность почвы, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>		
	40	50	60
Период «всходы-образование клубеньков на корнях», дней <i>Period "sprouting-formation of nodules on roots", days</i>	7	7	7
Период «всходы-образование активных клубеньков на корнях», дней <i>Period "sprouting-formation of active nodules on roots", days</i>	10	10	10
Продолжительность активного симбиоза, дней <i>Duration of active symbiose, days</i>	41	57	62
Число активных клубеньков на корнях, шт./сосуд <i>Number of active nodules on roots, pcs/vessel</i>	22	27	31
Масса активных клубеньков на корнях, г/сосуд <i>Weight of active nodules on roots, g/vessel</i>	3,5	5,5	6,5
Активный симбиотический потенциал (АСП), г x дней/сосуд <i>Active symbiotic potential (ASP), g x days/vessel</i>	71,8	85,1	201,5

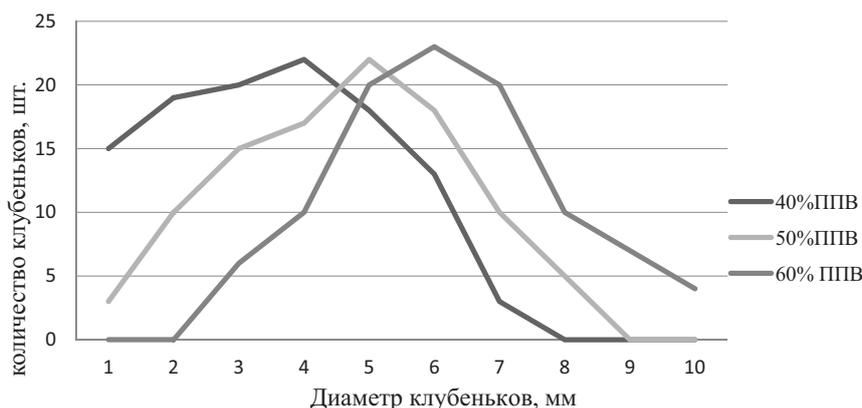


Рис. 1. Распределение клубеньков по диаметру, мм, у растений в зависимости от предполивного порога влажности почвы на примере сорта Мажева
 Fig. 1. Distribution of nodules by diameter (mm) in plants depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture on the example of the Mageva variety

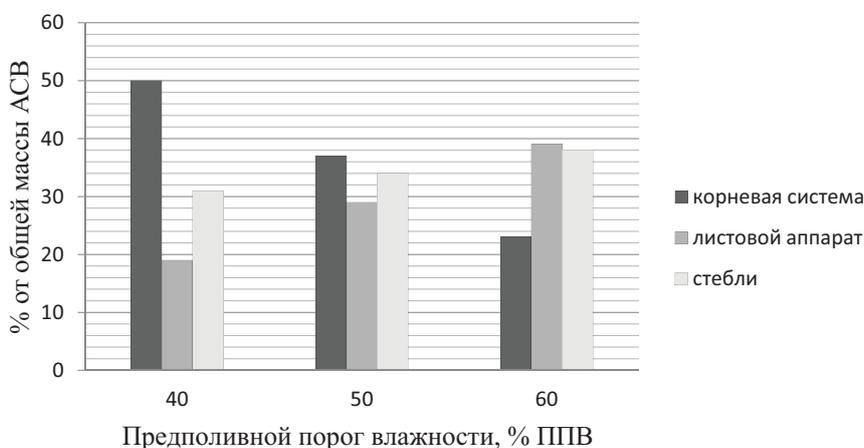


Рис. 2. Накопление абсолютно сухого вещества растениями сои в зависимости от предполивного порога влажности почвы, % от общей массы
 Fig. 2. Accumulation of absolutely dry matter by soybean plants depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture, % of the total mass

доля корней составляет 50%; при 50% ППВ – 37%; при 60% ППВ – 23%. Объясняется это тем, что при дефиците влаги значительная часть фотосинтезатов направляется растением на рост корневой системы, которая в поисках влаги проникает в нижние, более влажные горизонты. При достаточной влагообеспеченности большая часть фотосинтезатов направляется на рост и развитие надземной массы и формирование генеративных органов.

С увеличением предполивной влажности отмечается улучшение питания растений. Так, в варианте с 60% ППВ высота растений увеличивается в 1,35 и 1,62 раза по сравнению с ППВ 50 и 40% соответственно (табл. 3). Кроме того, в варианте с предполивной влажностью 60% ППВ нами отмечена значительно меньшая абортивность бобов, а также увеличение массы 1 тыс. семян, которая в 1,26-1,32 раза превышала другие варианты.

Отмечено также, что улучшение режима влагообеспеченности увеличивает высоту нижних ярусов, на которых формируются бобы. Эту особенность необходимо учитывать для обеспечения агротехнических требований к уборке сои северного экотипа, так как зачастую высота прикрепления нижнего боба составляет менее 10 см, что способствует потере значительной доли урожая [15].

В результате проведенных исследований отмечено, что с увеличением порога предполивной влажности с 40 до 60% ППВ сбор белка с урожаем семян возрастает с 8,04 до 16,50 г/сосуд, незаменимых аминокислот – с 5,22 до 10,70 г/сосуд, или в 1,81-2,05 раза; сбор жира – с 2,34 до 4,37 г/сосуд, или в 1,68-1,85 раза, сбор кормовых единиц – с 28,77 до 53,48 г/сосуд, или в 1,69-1,86 раза (табл. 4).

В полевых опытах при выращивании сои в оптимальные по влагообеспеченности годы

Таблица 3. Структура урожая сои в зависимости от предполивного порога влажности почвы, сорт Магева, вегетационный опыт, в среднем за 3 года
 Table 3. The structure of the soybean crop depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture, Mageva variety, vegetation experience, on average for 3 years

Показатель <i>Indicator</i>	Влажность почвы, % ППВ / <i>Soil moisture, % PPV</i>			НСР ₀₅
	40	50	60	
Высота растений, см / <i>Plant height, cm</i>	48	65	78	4,7
Высота крепления нижнего боба, см <i>Attachment height of lower bob, cm</i>	11	13	15	0,8
Бобов, шт./раст. / <i>Bobs, pcs./plant</i>	20	26	23	1,4
Семян, шт./раст. / <i>Beans, pcs./plant</i>	37	50	52	3,1
Семян, шт./1 боб / <i>Beans, pcs./1 bob</i>	1,85	1,92	2,26	0,13
Масса семян, г/раст. / <i>Weight of beans, g/plant</i>	4,11	6,95	7,64	0,45
Масса 1000 семян, г / <i>Weight of 1000 beans, g</i>	111	139	147	7,35

Таблица 4. Кормовая ценность, белковая и масличная продуктивность сои в зависимости от предполивного порога влажности почвы, сорт Магева, вегетационный опыт, в среднем за 3 года

Table 4. Feed value, protein and oilseed productivity of soybeans depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture, Mageva variety, vegetation experience, on average for 3 years

Показатель <i>Indicator</i>	Влажность почвы, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>			НСР ₀₅
	40	50	60	
Белковая продуктивность сои / <i>Protein productivity of soybeans</i>				
Масса семян, г/сосуд / <i>Seed weight, g/vessel</i>	20,55	34,75	38,20	2,29
Содержание белка в семенах, % АСВ <i>Protein content in seeds, % of DIA</i>	39,10	42,30	43,20	2,16
Сбор белка, г/сосуд / <i>Protein collection, g/vessel</i>	8,04	14,70	16,50	0,99
Сбор незаменимых аминокислот, г/сосуд <i>Essential amino acids collection, g/vessel</i>	5,22	9,55	10,72	0,64
Масличная продуктивность сои / <i>Oilseed productivity of soybeans</i>				
Содержание жира в семенах, % АСВ <i>Fat content in seeds, % of ADS</i>	19,00	19,00	19,10	0,95
Сбор жира с урожаем семян, г/сосуд <i>Fat collection with seeds yield, g/vessel</i>	3,90	6,60	7,29	0,43
Сбор ненасыщенных жирных кислот, г/сосуд <i>Collection of unsaturated fat acids, g/vessel</i>	2,34	3,96	4,37	0,26
Кормовая ценность сои / <i>Feed value of soybeans</i>				
Сбор кормовых единиц, г/сосуд <i>Harvesting of feed units, g/vessel</i>	28,77	48,65	53,48	0,32

Таблица 5. Показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности посевов сои в разные по влагообеспеченности годы, сорт Магева, полевой опыт

Table 5. Indicators of photosynthetic and symbiotic activity of soybean crops in years of different moisture availability, Mageva variety, field experience

Показатель <i>Indicator</i>	Влагообеспеченность, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>			В среднем по годам <i>On average per years</i>
	Избыточная <i>Excessive</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>	
Симбиотическая деятельность посевов / <i>Symbiotic activity of soybean crops</i>				
Сырая масса клубеньков всего, кг/га <i>Raw weight of nodules total, kg/ha</i>	634	868	600	700
Сырая масса активных клубеньков, кг/га <i>Raw weight of active nodules, kg/ha</i>	412	554	234	401
ОСП, кг × дней/га / <i>OSI, kg × days/ha</i> Общий симбиотический показатель <i>The overall symbiotic indicator</i>	38556	39595	27087	29661
АСП, кг × дней/га / <i>ASI, kg × days/ha</i> Active symbiotic indicator	19355	22124	10834	17348
Максимальное потребление азота, кг/га <i>Maximal nitrogen consumption, kg/ha</i>	199	211	178	196
УАС, г × сутки/кг активных клубеньков Удельный активный симбиоз <i>Specific active symbiosis</i> <i>SAS, g × day/kg active nodules</i>	9,0	9,6	5,3	7,93
Симбиотически фиксированный азот, кг/га <i>Symbiotically fixed nitrogen, kg/ha</i>	162	208	61	143
Доля симбиотически фиксированного азота от максимального потребления, % <i>Proportion of symbiotically fixed nitrogen in maximum consumption, %</i>	79	96	33	71
Фотосинтетическая деятельность посевов / <i>Photosynthetic activity of soybean crops</i>				
Максимальная площадь листьев, м ² /га <i>Maximum area of leaves, m²/ha</i>	32064	37788	25448	31767
Максимальное накопление абсолютно сухой массы, кг/га <i>Maximum accumulation of absolute dry weight, kg/ha</i>	6781	7277	5908	6655
ФСП, тыс. м ² × дней/га <i>PSA, thousand m² × days/ha</i>	1823	1911	1813	1849
Чистая продуктивность фотосинтеза, г × сутки/м ² <i>Net productivity of photosynthesis, g × day/m²</i>	3,52	3,63	3,11	3,42

формируется максимальный фотосинтетический (1911 тыс. м² × дней/га) и симбиотический (22124 кг × дней/га) аппарат. При этом соя за счет симбиотической азотфиксации накапливает 208 кг/га азота, составляющего в общем его потреблении 96%, то есть агроценоз почти полностью обеспечивает себя азотом за счет биологической азотфиксации. При избыточной влагообеспеченности на ее долю приходится 79%,

при недостатке влаги – 33%, в среднем по опыту – 71%.

Урожайность сои варьирует по годам от 1,47 т/га в условиях недостаточной влагообеспеченности до 2,71 т/га при оптимальной влажности (табл. 6) и снижается при избыточной влагообеспеченности в 1,08 раза, при недостаточной – в 1,84 раза. При этом на 2,13 и 3,31% уменьшается содержание белка в семенах;

Таблица 6. Урожайность, кормовая ценность, белковая и масличная продуктивность зерна сои в разные по влагообеспеченности годы, сорт Магева, полевой опыт

Table 6. Yield, feed value, protein and oilseed productivity of soybean grain in different moisture years, Mageva variety, field experience

Показатели Indicators	Влагообеспеченность / Soil moisture			В среднем по опыту On average per experience	НСР ₀₅
	Избыточная Excessive	Оптимальная Optimal	Недостаточная Insufficient		
Белковая продуктивность / Protein productivity					
Урожайность, т/га / Productivity, t/ha	2,49	2,71	1,47	2,22	0,11
Содержание белка, % от АСВ Protein content, % of ADS	40,51	42,64	39,33	40,82	2,04
Сбор белка с урожаем семян, кг/га Protein collection with seed yield, kg/ha	935	1074	661	882	44
Сбор незаменимых аминокислот, кг/га Collection of essential amino acids, kg/ha	589	677	416	556	28
Сбор лизина, кг/га / Lysine collection, kg/ha	47	54	33	44	2
Масличная продуктивность / Oilseed productivity					
Содержание жира, % от АСВ Fat content, % of ADS	20,47	18,90	20,05	19,80	0,99
Сбор жира с урожаем семян, кг/га Fat collection with seed yield, kg/ha	473	476	335	428	21
Сбор ненасыщенных жирных кислот, кг/га Collection of unsaturated fat acids, kg/ha	274	276	194	248	12
Кормовая ценность / Feed value					
Сбор кормовых единиц (КЕ) с урожаем семян, кг/га Collection of feed units (FU) with seed yield, kg/ha	3610	3929	2132	3219	161

в 1,14 и 1,62 раза – сбор белка с урожаем семян; в 1,13-1,60 раза – сбор незаменимых аминокислот; в 1,12-1,61 раза – сбор лизина; в 1,42 раза – сбор жира; в 1,41 раза – сбор ненасыщенных жирных кислот; в 1,10 и 1,80 раза – сбор кормовых единиц. При этом на 2,13 и 3,31% уменьшается содержание белка в семенах; в 1,14 и 1,62 раза – сбор белка с урожаем семян; в 1,13-1,60 раза – сбор незаменимых аминокислот; в 1,12-1,61 раза – сбор лизина; в 1,42 раза – сбор жира; в 1,41 раза – сбор ненасыщенных жирных кислот; в 1,10 и 1,80 раза – сбор кормовых единиц.

Выводы

1. При повышении предполивной влажности почвы с 40 до 60% ППВ соя сорта Магева завершает вегетацию на 16-21 дни позже при сумме активных температур 1624-1662°C.

2. По мере увеличения предполивного порога влажности почвы (с 40 до 60% ППВ) повышается продуктивность культуры: урожайность – с 4,11 до 7,64 г/сосуд; сбор белка с урожаем семян – с 8,04 до 16,50 г/сосуд;

незаменимых аминокислот – в 1,81-2,05 раза; сбор жира – в 1,68-1,85 раза; сбор кормовых единиц – в 1,69-1,86 раза; доля семян в общей массе растений увеличивается с 49 до 70-74%.

4. В оптимальные по влагообеспеченности годы формируется максимальный фотосинтетический (1911 тыс. м² × дней/га) и симбиотический (22124 кг × дней/га) аппарат, при этом за счет симбиотической азотфиксации азотное питание сои обеспечивается на 96%.

5. В годы с ГТК 0,9-1,1 урожайность сои сорта Магева в условиях Нечерноземной зоны составляет 2,71 т/га. Избыточная и особенно недостаточная тепло- и влагообеспеченность существенно снижает показатели продуктивности посевов: урожайность – в 1,08-1,84 раза; сбор белка – в 1,14-1,62 раза; сбор незаменимых аминокислот – в 1,13-1,60 раза, лизина – в 1,12-1,61 раза; сбор жира – в 1,04-1,42 раза, ненасыщенных жирных кислот – в 1,03-1,41; сбор кормовых единиц – в 1,10-1,80 раза; уровень симбиотической азотфиксации – до 33-79%, или в 1,29-2,90 раза.

Список использованных источников

1. **Бородычев В.В.** Соя в Волгоградской области / Лытов М.Н., Салдаев А.М., Пахомов Д.А. Волгоград: Панорама, 2008. 224 с.
2. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b21_38/IssWWW.exe/Stg/3-03.docx (дата обращения: 07.04.2023).
3. **Бельшкينا М.Е.** Динамические параметры формирования урожая раннеспелых сортов сои в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 77-84.
4. **Бельшкينا М.Е.** Современное состояние и перспективы мирового и российского рынков сои // Аграрная Россия. 2013. № 6. С. 7-11.
5. **Шевченко В.А., Кобозева Т.П., Попова Н.П.** Оптимизация кормовой ценности кукурузно-соевого силоса на мелиорированных землях Нечерноземья: монография. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», 2018. 204 с.
6. **Головина Е.В., Зотиков В.И., Гришечкин В.В.** Водный режим сортов сои северного экотипа и продуктивность // Зернобобовые и крупяные культуры. 2015. № 2 (14). С. 37-42.
7. **Гуреева Е.В.** Влияние гидротермических условий на урожайность семян сои в условиях Рязанской области // Земледелие. 2018. № 7. С. 34-35.
8. **Дорохов А.С., Бельшкينا М.Е.** Агроклиматическая характеристика регионов Нечерноземной зоны Российской Федерации и оценка пригодности для возделывания современных раннеспелых сортов сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 34-39.
9. **Юркова Р.Е., Селицкий С.А., Докучаева Л.М.** Влияние режимов орошения на водопотребление, развитие и урожайность сои // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 204-217.
10. **Посыпанов Г.С.** Современные методы определения количества фиксированного азота воздуха в полевых условиях / Кобозева Т.П., Тазин И.И., Беляев Е.В., Делаяев У.А. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2006. № 2. С. 129-134.
11. **Алт В.В., Исакова С.П.** Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 12-18.
12. **Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П.** Методы исследований в полевых опытах с соей: учебное пособие. Благовещенск: Онеон, 2016. 116 с.
13. **Завалин А.А.** Биологический и минеральный азот в земледелии России: монография. М., 2022. 256 с.
14. **Попова Н.П.** Симбиотическая деятельность посевов сои в Центральном Нечерноземье // Известия Международной академии аграрного образования. 2015. № 25-1. С. 68-72.
15. **Дозоров А.В., Ермошкин Ю.В.** Симбиотическая и фотосинтетическая деятельность сои при разных сроках и способах посева // Зерновое хозяйство. 2007. № 6. С. 30-32.

References

1. **Borodychev V.V.** Soy in the Volgograd region / Lytov M.N., Saldaev A.M., Pakhomov D.A. Volgograd: Panorama, 2008. 224 p.
2. Federal state statistics service https://gks.ru/bgd/regl/b21_38/IssWWW.exe/Stg/3-03.docx (Date of reference: 04/07/2023)
3. **Belyshkina M.E.** Dynamic parameters of early-ripening soybean crop formation in the conditions of the Central Non-Chernozem region // Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural academy. 2018. № 4 (44). P. 77-84.
4. **Belyshkina M.E.** The current state and prospects of the world and Russian soybean markets // Agrarian Russia. 2013. No. 6. P. 7-11.
5. **Shevchenko V.A., Kobozeva T.P., Popova N.P.** Optimization of the feed value of corn-soy silage on reclaimed lands of the Non-Chernozem region. M.: FGBNU "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov", 2018. 204 p.
6. **Golovina E.V., Zotikov V.I., Grishechkin V.V.** Water regime of soybean varieties of the northern ecotype and productivity // Leguminous and cereal crops. 2015. № 2 (14). P. 37-42.
7. **Gureeva E.V.** Influence of hydrothermal conditions on the yield of soybean seeds in the conditions of the Ryazan region // Agriculture. 2018. No. 7. P. 34-35.
8. **Dorokhov A.S., Belyshkina M.E.** Agro-climatic characteristics of the regions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and assessment of suitability for cultivation of modern early-ripening soybean varieties // Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural academy. 2021. № 3 (55). P. 34-39.
9. **Yurkova R.E., Selitsky S.A., Dokuchaeva L.M.** Influence of irrigation regimes on water consumption, development and yield of soybeans // Melioration and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12. No. 4. P. 204-217.
10. **Posypanov G.S.** Modern methods for determining the amount of fixed nitrogen in the air in the field conditions / Kobozeva T.P., Tazin I.I., Belyaev E.V., Delaev U.A. // Izvestiya of the Timiryazevskaya agricultural academy. 2006. No. 2. P. 129-134.
11. **Alt V.V., Isakova S.P.** Planning of work in the cultivation of grain crops: software components // Agricultural machines and technologies. 2023. Vol. 17. No. 4. pp. 12-18.
12. **Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P.** Research methods in field experiments with soy. Blagoveshchensk: All-Russian Research Institute of Soy, 2016. 116 p.
13. **Zavalin A.A.** Biological and mineral nitrogen in agriculture of Russia: monograph. Moscow, 2022. 256 p.
14. **Popova N.P.** Symbiotic activity of soybean crops in the Central Non-Chernozem region // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2015. No. 25-1. Pp. 68-72.
15. **Dozorov A.V., Ermoshkin Yu.V.** Symbiotic and photosynthetic activity of soybeans at different terms and methods of sowing // Grain farming. 2007. No. 6. P. 30-32.

Об авторах

Михаил Геннадьевич Загоруйко, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник; ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

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

Наталья Павловна Попова, канд. с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник; РИНЦ AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

Тамара Петровна Кобозева, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник; Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

Author information

Mikhail G. Zagoruiko, candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher RINTS, ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

Marina E. Belyshkina, doctor of agricultural sciences, leading researcher, ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; vimsoya@yandex.ru

Natalia P. Popova, candidate of agricultural sciences, associate professor, senior researcher RINTS AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

Tamara P. Kobozeva, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Загоруйко М.Г., Бельшккина М.Е., Попова Н.П., Кобозева Т.П. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Zagoruyko M.G., Belyshkina M.E., Popova N.P., Kobozeva T.P. carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote, have the copyright to the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors have contributed equally to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 02.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-42-48>

УДК 626/627:626.843(477.75-25)



ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М.А. Бандурин[✉], В.А. Волосухин, А.А. Руденко, А.С. Романова

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности применения комбинированных технологий при проведении мониторинга на примере Симферопольского водохранилища, а именно низкочастотная технология электромагнитного поля (VLF) и численное моделирование опасных конструктивных нарушений. Появляется возможность обнаружения разуплотнений грунтового основания сооружения. Когда поле находит объект в грунте, который проводит электричество, обнаруживается собственное магнитное поле гидротехнического сооружения, а именно разуплотнения и просадки. На основании проведенных исследований было выполнено численное моделирование плотины Симферопольского водохранилища при различных опасных конструктивных и приобретенных за длительный период эксплуатации дефектов. Следует отметить, что за период эксплуатации на комплексе гидротехнических сооружений Симферопольского водохранилища капитальный ремонт и реконструкция не проводились. Были численно рассчитаны конструктивные особенности работы зуба в теле плотины. Получены эпюры напряжений и деформации. На основании проведенных расчетов для уменьшения потерь воды на фильтрацию в левом борту плотины предусматривается устройство цементационной завесы. Установлено, что в зависимости от глубины залегания водоупорных пород высота цементационной завесы является различной. По материалам рекогносцировочного обследования и выполнения расчетов, полевых работ и лабораторных испытаний можно сделать вывод об устойчивости сооружения при сохранении нынешней интенсивности эксплуатации.

Ключевые слова: мониторинг, электромагнитное поле, гидротехнические сооружения, численные расчеты, надежность, период эксплуатации

Формат цитирования: Бандурин М.А., Волосухин В.А., Руденко А.А., Романова А.С. Особенности применения комбинированных технологий при проведении мониторинга Симферопольского водохранилища // Природообустройство. 2024. № 1. С. 42-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-42-48>

Original article

FEATURES OF THE USE OF COMBINED TECHNOLOGIES IN CONDUCTING MONITORING OF THE SIMFEROPOL RESERVOIR

M.A. Bandurin[✉], V.A. Volosukhin, A.A. Rudenko, A.S. Romanova

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; 13 Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia

Abstract. The article discusses the peculiarities of the use of combined technologies in monitoring on the example of the Simferopol reservoir, namely low-frequency electromagnetic field (VLF) technology and numerical modeling of dangerous structural violations. It is possible to detect decompression of the soil base of the structure. When the field finds an object in the ground that conducts electricity, it detects the hydraulic structure's own magnetic field, namely decompaction and subsidence. On the basis of the studies carried out, numerical simulation of the dam of the Simferopol reservoir was carried out

with various dangerous structural defects and defects acquired over a long period of operation. It should be noted that during the period of operation at the complex of hydraulic structures of the Simferopol reservoir, no major repairs and reconstruction were carried out. The design features of the tooth in the body of the dam were numerically calculated. Stress and strain diagrams were obtained. Based on the calculations, in order to reduce water losses for filtration in the left side of the dam, the installation of a cementation curtain is envisaged. It has been established that the height of the cementation curtain is different depending on the depth of occurrence of water-resistant rocks. Based on the materials of the reconnaissance survey and calculations, field work and laboratory tests, it is possible to conclude that the structure is stable, while maintaining the current intensity of operation.

Keywords: monitoring, electromagnetic field, hydraulic structures, numerical calculations, reliability, period of operation

Format of citation: Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., Romanova A.S. Features of the use of combined technologies in conducting monitoring of the Simferopol reservoir // Prirodoobustroistvo. 2024. No 1. P. 42-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-42-48>

Введение. Симферопольское водохранилище вытянутое с юго-востока на северо-запад, было построено в 1956 г. Естественная емкость расположена в предгорной части бассейна р. Салгир. В годовом колебании уровня вод в р. Салгир выделяют два периода с декабря по апрель, высокие уровни. Низкая межень с мая по ноябрь. Паводки холодного периода нередко превышают летние и также бывают катастрофическими. Площадь зеркала при горизонте мертвого объема, наинизший уровень, ниже которого вода из водохранилища не должна забираться для использования, составляет 43 га при нормальном подпорном горизонте, уровень воды при полном нормальном заполнении пруда – 322 га, наибольшая глубина – 36 м, средняя длина – 6 км при ширине водохранилища 0,5 км. Уровень залегания грунтовых вод до 3 м. Состояние Симферопольского водохранилища напрямую связано с его объемом и качеством воды. Это позволяет обеспечивать водоснабжение города Симферополя и его окрестностей. [1].

По топографическим и геологическим условиям для строительства плотины Симферопольского водохранилища принят Нижнебитакский створ, расположенный на участке долины р. Салгир, в 1,0-1,5 км выше с. Пригородное и в 3 км к юго-востоку от г. Симферополя. В геоморфологическом отношении участок створа плотины представляет собой узкую и глубокую долину в предгорной части р. Салгир, которая протекает вблизи левого склона, образуя русло шириной до 20 м и глубиной 0,2-0,4 м. Пойма имеет ширину до 120 м и абсолютную отметку 260 м. Склоны долины имеют крутизну в среднем 1:4 (левый) и 1:9 (правый). По геологическим условиям район створа плотины сложен песчаниками и конгломератами битакской свиты. Песчаники, залегающие в основании, являются более устойчивыми от выветривания, чем конгломераты. Они менее

трещиноваты, а, следовательно, и менее водопроницаемы. Геологические условия Нижнебитакского створа являются благоприятными для возведения плотины высотой до 40 м.

Материалы и методы исследований.

В геологическом строении естественной емкости водохранилища принимают участие породы, относящиеся к триасу, юре и четвертичному возрасту. Водохранилище залегает в Курцевском поднятии, причем нижняя часть (район плотины) располагается в северо-западном крыле антиклинали в породах битакской и таврической свит, центральная часть – в ядре антиклинали в породах эскиординской свиты и интузий, верхняя часть – в западном крыле антиклинали, в породах таврической свиты с трансгрессивным залеганием на них байраклинских конгломератов. На эскиординской свите залегают известняки лейаса и таврическая свита пород нижней юры. Известняки лейаса не имеют сплошного распространения, прослеживаются лишь местами и залегают мощностью от 2 до 30 м. Они светло- и темно-серые, конгломеративные, местами песчанистые и мергелистые [2].

В районе створа плотины конгломераты, осадочная горная порода состоят из окатанных обломков (гальки) различного состава, величины и формы, сцементированных глиной, известью, кремнеземом и др. Таврическая свита пород залегает на известняках лейаса и эскиординской свите и образует две полосы северо-восточного простирания. Первая из них – северная, в нижней и средней своей части представлена песчано-глинистыми и глинистыми сланцами. Общая мощность этой части таврической свиты составляет 650-700 м. Выше данной толщи имеется надвиг пород той же таврической свиты, представленной песчаниками, выше – глинистыми сланцами. Мощность этой толщи достигает 100-200 м, ниже песчаник с прослоями глинистых

и песчано-глинистых сланцев с большой глыбой нижнепермского известняка на правом берегу. Общая мощность подвинутой толщи составляет от 350-700 м. Степень окатанности обломков и степень отсортированности по величине зерен указывают на протяженность переноса обломков от места первоначального образования.

Нижняя часть таврической свиты сильно дислоцирована, перемята и имеет массу гофрировок. На таврической свите нижней юры резко несогласно залегает битакская свита пород средней юры. Битакская свита сложена конгломератами серого цвета, имеет довольно большую мощность. В подавляющем большинстве разновидностей песчаников преобладает кварц как наиболее физически и химически устойчивый минерал [3].

Подземные воды естественной емкости водохранилища приурочены к аллювиальным отложениям долины р. Салгир и коренным породам. Наиболее водообильным является аллювиальный горизонт поймы. Общая мощность этой свиты выше створа плотины составляет 1100-1200 м. Источником питания водоносного горизонта являются воды р. Салгир и трещинные воды коренных пород. Аллювиальные воды приурочены к галечникам и в пределах поймы залегают на глубине в среднем 1,5 м, имея уровни, близкие к поверхностным водотокам реки. Они имеют гидравлическую связь с рекой и пологую кривую депрессии с наклоном в сторону реки благодаря подпитыванию трещинными водами коренных пород склонов и водоразделов [4].

Мощность водовмещающих галечников составляет 3-4 м, коэффициент фильтрации которых достигает 500 м/сут. Водоносный горизонт коренных пород имеет слабую обильность. Коренные породы сильно дислоцированы, местами перемяты, содержат в своем составе большое количество сланцев, являющихся практически водоупорными, местами прорваны интрузиями диабазов, являющихся также практически водоупорными. Благодаря этому данные породы являются водопроницаемыми лишь в своей верхней выветренной трещиноватой части. Контакты интрузий с осадочными породами также являются монолитными и водоупорными. Выходы этих пород на коренных склонах в естественной емкости водохранилища прослеживаются виде источников на высоте 20-30 м над уровнем реки или на абсолютных отметках 280-290 м и выше, с кривой депрессии, падающей в сторону долины реки, и дренируются в большинстве балками, впадающими в р. Салгир. Мощность водоносного горизонта составляет до 15 м и более. Образуются

в результате размыва и переотложения более древних горных пород, переслаиваются с песчаниками, образовавшимися в результате разрушения горных пород, переноса обломков водой или ветром и отложения с последующей цементацией [5].

Большинство источников обладает малым и непостоянным дебитом. Источники бывают водообильными только в период выпадения осадков и высокого стояния уровня подземных вод. Водоупором горизонта трещинных вод являются также коренные породы, в которых на определенной глубине трещиноватость затухает и практически отсутствует зона выветривания.

Выход трещинных вод на абсолютных отметках, как подпора, указывает, что ложе водохранилища является практически водоупорным и нет оснований ожидать фильтрационных потерь и утечки воды из естественной емкости Симферопольского водохранилища [6, 7].

В состав гидроузла Симферопольского водохранилища входят: земляная плотина высотой 40 м, шириной поверху 10 м и длиной по гребню 554 м; водосброс запроектирован в обход правого плеча плотины на расчетный (286 м³/с) и поверочный (450 м³/с) расход установкой на входном оголовке сегментных затворов.

Сопряжение бьефов осуществляется быстотоком, заканчивающимся водобойным колодцем. Водозаборное сооружение принимается без башенного типа с железобетонной камерой в теле плотины, в которой укладываются одна водопроводная труба диаметром 400 мм и две трубы диаметром 800 мм.

Результаты и их обсуждение. За период эксплуатации на комплексе гидротехнических сооружений Симферопольского водохранилища капитальный ремонт и реконструкция не проводились. В 2001 г. Выполнены досыпка и асфальтирование гребня плотины. В первые годы эксплуатации для повышения устойчивости каменно-земляной плотины ее низовая призма от бермы до основания была расширена на 50 м присыпкой крупнообломочного грунта.

Для проведения мониторинга была использована технология, также известная как VLF. При этой технологии используются две катушки, создающие электромагнитное поле, и появляется возможность обнаружения различных металлических предметов и разуплотнений грунта. Когда поле находит объект в грунте, который проводит электричество, обнаруживается собственное магнитное поле объекта. Исследование выполнялось обнаружителем NoktaInvenioSmart, в реальном времени, где происходит построение трёхмерной

модели исследуемого участка, использовалась технология искусственного интеллекта способная формировать 3D-изображения пустот и разуплотнений.

На момент обследования шахты водосброса элементы по визуальному осмотру находились в удовлетворительном состоянии. В некоторых местах выявлено расхождение плит. Переработка берегов отсутствует. Склоны пологие, борта и долина покрыты одиночными кустарниками и деревьями. Берега укреплены бетонными плитами. Следов обрушения берегов, оползней не наблюдается. Степень зарастания на момент обследования составила 8% – в основном в юго-восточной части. Сброс канализационных и технических вод не осуществляется. На сухом откосе просачивание не наблюдается. Рядом с плотиной заболоченность также не наблюдалась. За границей правого борта – два водоема, происхождение которых можно объяснить фильтрацией воды через тело дамбы.

Водосброс Симферопольского водохранилища не нарушает гидробиологическое, санитарное и гидрологическое состояние р. Салгир и не оказывает влияния на подтопление окружающей территории. Максимальный расход происходит в пределах попуска шахтного водосброса [8].

При исследовании обнаружены дефекты шахты водосброса (рис. 1):

– внутри шахты водосброса имеется биологическое нарастание, а также просачивание и нарушение бетонного слоя в водосбросе;

– имеется выход воды ниже отметки верха заложения шахты водосброса, свидетельствующий о просачивании воды сквозь стенки шахты и о нарушении целостности сооружения;

– от шахтного водосброса отходит прямоугольная двухчочковая бетонная труба с размерами 2000 × 2500 мм. При обследовании выявлены расхождение бетонных перекрытий, трещины с обнажением арматуры, просачивание воды через тело плотины с выходом в водосброс, отвалы бетона.

Составлена карта внутренних полостей и разуплотнений, определены геометрические параметры невидимых дефектов [9].

На рисунке 2 представлено обследование водозаборного сооружения, нарушения конструкции как видимые, шахтный водосброс внутри, просачивание воды в шахтном водосбросе (рис. 1, а) и в теле сооружения, образование продольных трещин (рис. 1, б) [6]. Определены их количество и геометрические параметры. Цветовая палитра показывает плотность разуплотнения грунта и уменьшается от красного до желтого цвета.

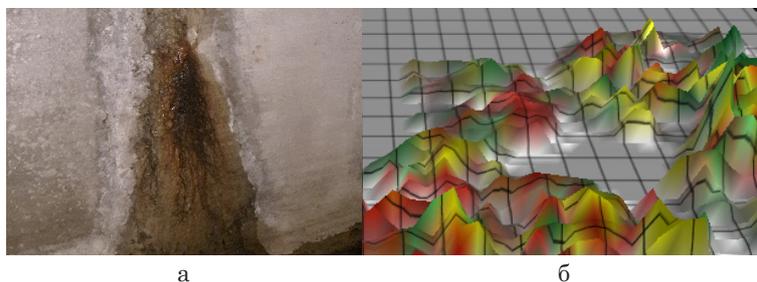


Рис. 1. Дефекты шахты водосброса:

а – просачивание и нарушение бетонного слоя в водосбросе;

б – радарограмма внутренних полостей и разуплотнений

Fig. 1. Defects of the spillway shaft:

a – seepage and violation of the concrete layer in the spillway; b – radargram of internal cavities and deconsolidations

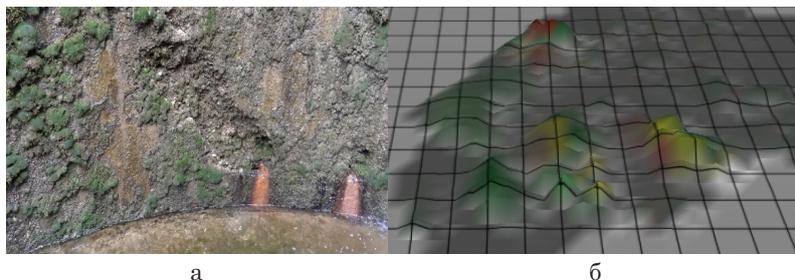


Рис. 2. Обследование водозаборного сооружения:

а – шахтный водосброс внутри, просачивание воды в шахтном водосбросе;

б – образование продольных трещин

Fig. 2. Inspection of the water intake structure:

a – mine spillway inside, water seepage in the mine spillway; b – formation of longitudinal cracks

Также можно судить о фильтрации воды в теле плотины, однако внешний откос плотины – сухой, следовательно, фильтрация проходит через железобетонный лоток шахты водосброса.

Металлические объекты и пустоты, находящиеся в пределах электромагнитного поля, получают энергию и ретранслируют собственное электромагнитное поле. Поисковая катушка применяемого прибора принимает ретранслируемое поле и предупреждает пользователя, формируя целевой отклик, расшифровывая который, получаем геометрию пустоты или разуплотнения в грунтовом основании сооружения.

Состояние плит, укрепляющих водосброс Симферопольского водохранилища, является неудовлетворительным (рис. 3). При обследовании укрепляющих плит были выявлены разрушения связывающего состава между плитами, отваливание плит, а также зарастание через стыки плит растительностью, что в дальнейшем может привести к деформации и отхождению плит [10]. В местах обнажения грунтового тела плотины визуально обнаруживаются следы эрозии, которые, если оставить их в таком состоянии, грозят аварийным состоянием плотины. Плиты, укрепляющие дамбу водохранилища, имеют разные геометрические размеры. Плитное крепление верхнего откоса плотины имеет размеры $3000 \times 1500 \times 150$; плиты железобетонные, сборные с омоноличиванием; обратный фильтр отсутствует. Количество плит, находящихся

в неудовлетворительном состоянии, оценено как 20% от общего количества плит по периметру водохранилища, что составляет 57 плит.

На основании проведенных исследований было выполнено численное моделирование [11] плотины Симферопольского водохранилища, представленное на рисунке 4.

С целью уменьшения интенсивности фильтрации по контакту тела плотины с основанием в верхней трещиноватой зоне скалы врезан зуб в скалу на глубину от 4 до 5 м. Конструктивные особенности его работы были рассчитаны. Получены эпюры напряжений и деформации.

На основании проведенных расчетов [12] для уменьшения потерь воды на фильтрацию в левом борту плотины предусматривается устройство цементационной завесы (рис. 5). На выбор глубины противофильтрационной завесы влияют главным образом естественные условия водонепроницаемости и характер залегания пород в основании плотины. Положение верха цементационной завесы ограничивается основанием бетонного зуба. В зависимости от глубины залегания водоупорных пород высота цементационной завесы является различной.

Состояние плотины и сбросной шахты оценивается как неудовлетворительное. Имеют место фильтрация в теле плотины, нарушение целостности конструкции, просачивание воды через водосброс, отвалы бетона, просачивание воды через шахтный водосброс.

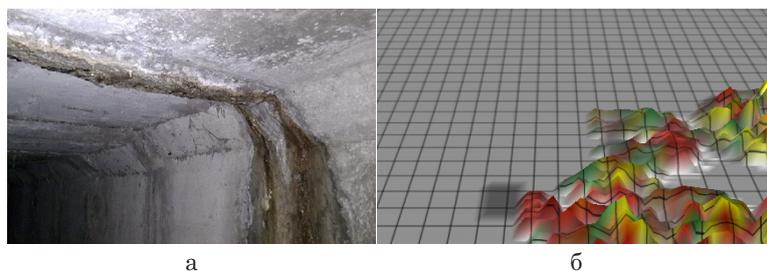


Рис. 3. Дефекты водозаборного сооружения:

а – ржавые потеки на стенках; б – эрозия бетона вследствие кавитационных процессов

Fig. 3. Water intake structure defects:

a – rusty streaks on the walls; b – erosion of concrete due to cavitation processes

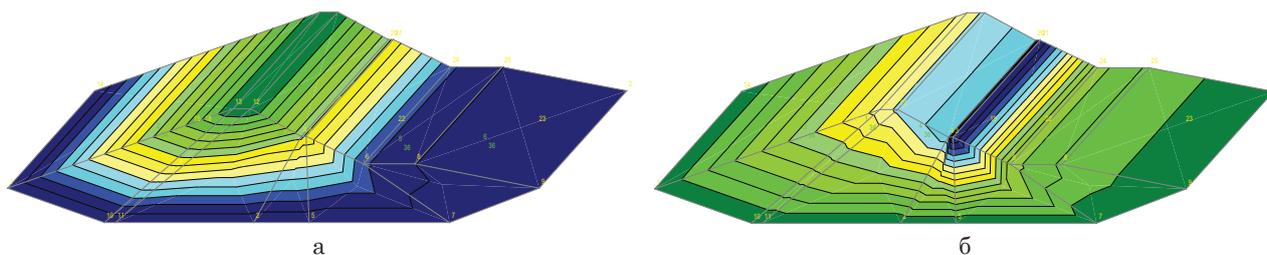


Рис. 4. Численное моделирование плотины, эпюры деформации:

а – суммарные; б – поперек тела плотины

Fig. 4. Numerical simulation of the dam, deformation diagrams:

a – total; b – across the body of the dam

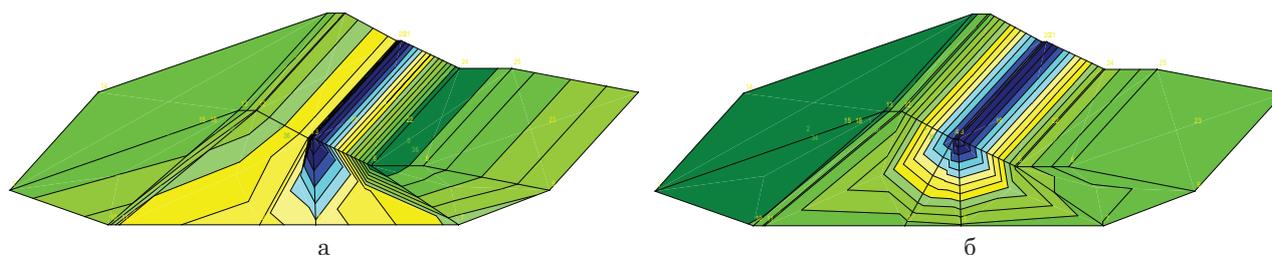


Рис. 5. Численное моделирование плотины, эпюры напряжений:

а – поперек тела плотины; б – вдоль тела плотины

Fig. 5. Numerical modeling of the dam, stress diagrams:

a – across the body of the dam; b – along the body of the dam

Выводы

Согласно результатам проведенных работ по обследованию гидротехнического сооружения можно сделать следующие выводы:

- железобетонные плиты верхнего откоса плотины находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют замены. Остальные плиты по периметру дамбы также находятся в неудовлетворительном состоянии. Общее количество плит, нуждающихся в реконструкции, составляет более 22%;

- служебный мост к шахтному водосбору находится в аварийном состоянии и подлежит замене, отсутствуют сетки на шахтном водосборе;

- шахтный водосбор имеет просачивание. Галерея шахтного водосбора также фильтрует воду через соединительные швы между железобетонными изделиями. Железобетонные конструкции требуют ремонта;

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001)

Список использованных источников

1. Бабинецкая А.С., Дербасова Н.М. Обоснование выбора концептуальной модели водосбора для прогнозирования водообеспеченности Симферопольского водохранилища // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6, № 4. С. 137-142.

2. Иванкова Т.В. Рациональное использование водных ресурсов длительно эксплуатируемого Симферопольского водохранилища на реке Салгир, Республика Крым // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5, № 4. С. 212-218. DOI: 10.29039/article_5a3d2049b1e4a6.72412492.

3. Дунаева Е.А., Попович В.Ф., Ляшевский В.И. Анализ динамики количественных и качественных характеристик водных ресурсов с использованием открытых ГИС и агрогидрологических моделей // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 1(17). С. 127-141.

4. Волосухин Я.В., Наволокин Д.Ю. Обеспечение безопасности водопользования в Республике Крым // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 6. С. 4-9.

5. Косиченко Ю.М., Савенкова Е.А. Расчетная оценка надежности работы грунтовой плотины малого

– тело дамбы сложено полутвердыми глинами с прослойками песка (1-3 см) и включением щебня известняка до 10-15%. Мощность отложений колеблется от 0,6 до 7,7 м. Согласно данным определения оптимальной влажности и максимальной плотности грунта средний коэффициент относительного уплотнения грунта составляет 1,05.

По материалам рекогносцировочного обследования и выполнения расчетов, полевых работ и лабораторных испытаний можно сделать вывод об устойчивости сооружения при сохранении нынешней интенсивности эксплуатации. При активизации хозяйственной деятельности необходим строгий контроль за состоянием плотины для предотвращения развития затопления территории вследствие резкого подъема уровня поверхностных и подземных вод.

Financing. This work was supported by the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (grant No. 22-17-20001).

References

1. Babinetskaya A.S., Derbasova N.M. Justification of the choice of the conceptual model of the catchment for forecasting the water supply of the Simferopol reservoir // Energetic plants and technologies. 2020. Vol. 6, No. 4. P. 137-142.

2. Ivankova T.V. Rational use of water resources of the long-term exploitation of the Simferopol reservoir on the Salgir River, Republic // Construction and architecture. 2017. Vol. 5, No. 4, P. 212-218. – DOI: 10.29039/article_5a3d2049b1e4a6.72412492.

3. Dunaeva E.A., Popovich V.F., Lyashevsky V.I. Analysis of the dynamics of quantitative and qualitative characteristics of water resources using open GIS and agrohydrological models. // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2015. No 1(17). P. 127-141.

4. Volosukhin Ya.V., Navolokin D.Yu. Ensuring the safety of water use in the Republic of Crimea. // Vowater supply and sanitary engineering. 2017. № 6. P. 4-9.

5. Kosichenko Yu.M., Savenkova E.A. Calculation assessment of the reliability of the work of the ground dam of a small reservoir using diagnostic indicators according

водохранилища с использованием диагностических показателей по данным наблюдений // Природообустройство. 2012. № 5. С. 41-45.

6. **Волосухин В.А.**, Безопасность сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс с учетом изменившихся во времени нагрузок и воздействий / Бандурин М.А., Приходько И.А., Вербицкий А.Ю. // Природообустройство. 2022. № 5. С. 52-59. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.

7. **Козлов Д.В., Кловский А.В.** Экспертная оценка причин возникновения аварии на грунтовой плотине Сардобинского водохранилища // Природообустройство. 2021. № 5. С. 75-84. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84.

8. **Снежко В.Л., Сидорова С.А., Симонович О.С.** Прогноз уровня безопасности грунтовых низконапорных плотин // Природообустройство. 2019. № 2. С. 72-79. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80.

9. **Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф.** Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2015. № 1. С. 12-15.

10. **Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф.** Классификация мероприятий безопасной эксплуатации мелиоративных систем // Природообустройство. 2016. № 1. С. 58-62.

11. **Погорелов А.В., Липилин Д.А., Курносова А.С.** Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища // Географический вестник. 2017. № 1(40). С. 130-137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.

12. **Бандурин М.А., Приходько И.А., Романова А.С.** Мониторинг низконапорной земляной плотины инженерной защиты реки Псекупс нижней Кубани // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1(391). С. 74-79. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_74.

Об авторах

Михаил Александрович Бандурин, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus AuthorID57201780087; PИHЦ AuthorID518464; WOSResearchID: D-5293-2016; SPIN-код 6451-2467; chepura@mail.ru

Виктор Алексеевич Волосухин, д-р техн. наук, профессор; ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus AuthorID57201781001; PИHЦ AuthorID290467; SPIN-код 3214-4973; director@ibgts.ru

Артем Анатольевич Руденко, аспирант; ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus AuthorID57486226000; PИHЦ AuthorID1049046; SPIN-код 9649-8680; away704@gmail.com

Анна Сергеевна Романова, магистрант; ORCID: 0000-0001-9035-917X; PИHЦ AuthorID1159646; SPIN-код 7540-6975; any30082002@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Бандурин М.А., Волосухин В.А., Руденко А.А., Романова А.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of Interest:

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

Вклад авторов / Authors' contributions

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

Статья поступила в редакцию / Submitted to the editorial office 05.06.2023

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 10.08.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.08.2023

to observational data. // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 5. P. 41-45.

6. **Volosukhin V.A.** Safety of engineering protection structures in the Psekups River Valley taking into account over time changes in loads and impacts / M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko, A.Yu. Verbitsky // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 5. P. 52-59. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.

7. **Kozlov D.V., Klovsky A.V.** Expert assessment of the causes of the occurrence of the accident on the ground dam of the Sardobinsky reservoir. // Prirodoobustrojstvo. 2021. № 5. P. 75-84. – DOI 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84.

8. **Snezhko V.L., Sidorova S.A., Simonovich O.S.** Forecast of the safety level of ground low-pressure dams // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 2. P. 72-79. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80

9. **Karpenko N.P., Yurchenko I.F.** Theoretical justification of the structure of the classifier of safety criteria of the GTS of the melioration of the water management complex // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 1. С. 12-15. 2015.

10. **Karpenko N.P., Yurchenko I.F.** Classification of measures of safe operation of melioration systems // Prirodoobustrojstvo. 2016. № 1. P. 58-62.

11. **Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kurno-sova A.S.** Satellite monitoring of the Krasnodar reservoir // Geographic bulletin. 2017. № 1(40). P. 130-137. – DOI 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.

12. **Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Romanova A.S.** Monitoring of the low-pressure earth dam of the engineering protection of the Psekups river of the lower Kuban // International agricultural journal. 2023. No 1(391). P. 74-79. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_1_74.

Author information

Mikhail A. Bandurin, doctor of technical sciences, associate professor; ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus Author ID57201780087; RSCI Author ID518464; WOSResearch ID: D-5293-2016; SPIN code 6451-2467; chepura@mail.ru

Victor A. Volosukhin, doctor of technical sciences, professor; ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus Author ID57201781001; RSCI Author ID290467; SPIN code 3214-4973; director@ibgts.ru

Artem A. Rudenko, post graduate student; ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus Author ID57486226000; RSCI Author ID1049046; SPIN code 9649-8680; away704@gmail.com

Anna S. Romanova, MA student; ORCID: 0000-0001-9035-917X; RSCI Author ID1159646; SPIN code 7540-6975; any30082002@mail.ru

Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Rudenko A.A., Romanova A.S. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-49-56>

УДК 627.8:693.5



РАСЧЕТЫ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕНИЯ БЕТОННОЙ И КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИН БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

Е.Н. Беллендир^{1✉}, О.Д. Рубин^{2,3✉}, С.В. Юрьев¹, С.Е. Лисичкин², И.В. Баклыков²

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

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

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

Аннотация. Сопряжение бетонной плотины с каменно-набросной плотиной является наиболее ответственным участком напорного фронта Богучанской ГЭС. Важнейшей особенностью Богучанской ГЭС является наличие противофильтрационного элемента – асфальтобетонной диафрагмы, которая выполняется по специальной технологии из литой гидротехнической асфальтобетонной смеси, укладываемой в разогретом состоянии. От состояния узла сопряжения асфальтобетонной диафрагмы с секцией № 34 бетонной плотины (в том числе от состояния контактного шва между ними) зависит безопасность напорного фронта гидроузла. После начала заполнения водохранилища в 2012 г. было зафиксировано раскрытие контактного шва между АБД и секцией № 34 бетонной плотины, также отмечалась осадка АБД относительно секции № 34 бетонной плотины. В настоящее время раскрытие контактного шва и осадки нельзя назвать стабилизированным. Целью исследований являлось расчетное определение напряженно-деформированного состояния сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС. На основе пространственной конечно-элементной модели сопряжения бетонной плотины с каменно-набросной плотиной, с учетом данных натурных наблюдений и отклонений от проектных предпосылок, были выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния. Результаты расчетов показали, что контролируемые величины не превышают критериальных значений.

Ключевые слова: сопряжение бетонной и каменно-набросной плотин, асфальтобетонная диафрагма, шахта с асфальтовой мастикой, пространственная конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние

Формат цитирования: Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Юрьев С.В., Лисичкин С.Е., Баклыков И.В. Расчеты напряженно-деформированного состояния сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС // Природообустройство. 2024. № 1. С. 49-56. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-49-56>

Original article

CALCULATIONS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE CONJUGATION OF THE CONCRETE AND ROCK-FILL DAMS OF THE BOGUCHANSKAYA HPP

E.N. Bellendir^{1✉}, O.D. Rubin^{2,3✉}, S.V. Yuriev¹, S.E. Lisichkin², I.V. Baklykov²

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

² Branch of JSC “Design, Survey and Research Institute Hydroproject named after S.Y. Zhuk” – “Research Institute of Energy Structures”, 125080, Moscow, Volokolamskoye shosse, 2, Russia

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, 129337, Yaroslavskoye shosse, 26, Russia

Abstract. The conjugation interface of the concrete dam with the rock-fill dam is the most critical section of the pressure front of the Boguchanskaya HPP. The most important feature of the Boguchanskaya HPP is the presence of an impervious element – an asphalt concrete diaphragm, which is made using a special technology from a cast hydraulic asphalt concrete mixture laid in a heated state. The safety of the pressure front of the hydroelectric complex depends on the condition of the junction of the asphalt concrete diaphragm with section No. 34 of the concrete dam (including

the condition of the contact joint between them). After the beginning of filling the reservoir in 2012, the opening of the contact joint between the ABD and section No. 34 of the concrete dam was recorded, and the settlement of the ABD relative to section No. 34 of the concrete dam was also noted. At present, the opening of the contact seam and the settlement cannot be called stabilized. The aim of the research is to determine the computational stress-strain state of the conjugation between the concrete and rock-fill dams of the Boguchanskaya HPP. On the basis of a spatial finite element model of the conjunction of a concrete dam with a rock-fill dam, taking into account the data of field observations and deviations from the design prerequisites, calculations of the stress-strain state were performed. The results of the calculations showed that the controlled values do not exceed the criterion values.

Keywords: conjugation of concrete and rock-fill dams, asphalt concrete diaphragm, a mine with asphalt mastic, spatial finite element model, stress-strain state

Format of citation: Bellendir E.N., Rubin O.D., Yuriev S.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V. Calculations of the stress-strain state of conjugation of the concrete and rock-fill dams of the Boguchanskaya HPP // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 49-56. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-49-56>

Введение. Наиболее ответственным участком напорного фронта Богучанской ГЭС является сопряжение бетонной плотины с каменно-набросной плотиной (КНП) [1, 2].

Сопряжение бетонной плотины с каменно-набросной плотиной Богучанской ГЭС осуществляется обсыпкой конусами упорных призм 5 глухих бетонных секций (№ 30-34), каждая из которых имеет длину 22,0 м (рис. 1). В нижней части откосы верхового и низового конусов упираются в подпорные стенки временного шлюза [1, 2].

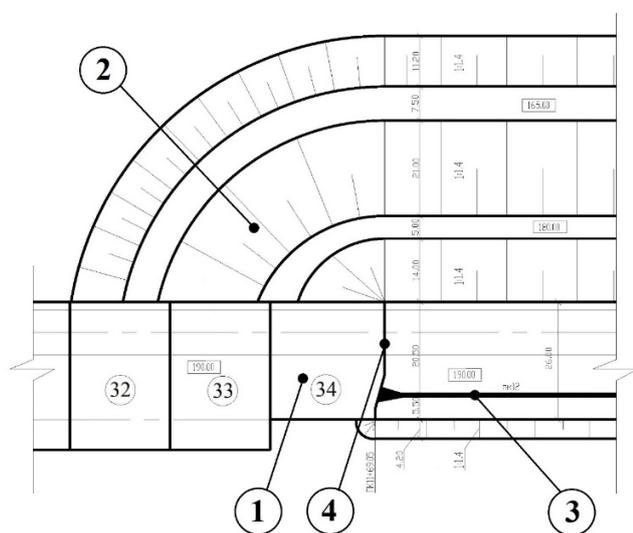


Рис. 1. Сопряжение бетонной и каменно-набросной плотин в плане:

- 1 – бетонная плотина;
- 2 – каменно-набросная плотина;
- 3 – асфальтобетонная диафрагма;
- 4 – сопряжение бетонной и каменно-набросной плотин

Fig. 1. Junction of concrete and rock-fill dams in the plan:

- 1 – concrete dam; 2 – rock-fill dam;
- 3 – asphalt concrete diaphragm;
- 4 – conjunction of concrete and rock-fill dams

Необходимо отметить, что особенностью Богучанской ГЭС является наличие противофильтрационного элемента – асфальтобетонной диафрагмы (АБД), которая выполняется по специальной технологии из литой гидротехнической асфальтобетонной смеси, укладываемой в разогретом состоянии [3-6, 8]. При проектировании и строительстве уникального сооружения каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС был также учтен зарубежный опыт строительства плотин с асфальтобетонными диафрагмами [7, 9-11]. В итоге при актуализации технического проекта в 2008 г. был принят следующий вариант сопряжения асфальтобетонной диафрагмы с секцией № 34 бетонной плотины.

Сопряжение осуществляется за счет устройства в торце последней глухой секции № 34 скоса грани на длине 7,5 м в сторону нижнего бьефа 1:3,75. В то же время торцевая грань секции № 34 выполняется с уклоном 20:1. АБД, примыкающая к бетонной грани секции № 34, со скосом расширяется в плане до 4,0 м для более надежного контакта с бетонной плотиной. Предполагается, что при наполнении водохранилища под напором воды АБД прижимается к бетонной плотине и перемещается вдоль грани со скосом, обеспечивая плотный контакт по шву.

Чтобы избежать в начальный период наполнения водохранилища перемещения каменной наброски плотины в сторону верхнего бьефа, было предложено по всему контакту между бетонной секцией № 34 и АБД установить 2 U-образные шпонки из латуни, которые крепятся анкерами, а в асфальтобетон заводятся путем устройства шахты с последующим ее заполнением асфальтовой мастикой. Со стороны АБД выполняется шпоночный колодец из половины трубы диаметром 1020 мм, которая примыкает к бетонной секции и заполняется, как и шахта, асфальтовой мастикой. При деформациях в районе

контакта АБД с бетонной секцией № 34 в шпуночный колодец может доливаться асфальтовая мастика.

Конструкция примыкания асфальтобетонной диафрагмы к секции № 34 бетонной плотины показана на рисунке 2.

После начала наполнения водохранилища в 2012 г. контактный шов между АБД и секцией № 34 начал раскрываться, и отмечалась осадка АБД относительно секции № 34 бетонной плотины [12, 13], что также следует из соответствующих графиков, представленных на рисунках 3 и 4.

При достижении УВБ, равного пусковой отметке, рост ширины раскрытия контактного шва замедлился. В дальнейшем, начиная с 2014 г., когда уровень верхнего бьефа достиг НПУ, рост ширины раскрытия контактного шва продолжался с замедлением – по всей видимости, в результате продолжающейся осадки АБД, как следует из сопоставления содержания рисунков 3 и 4. По мере уменьшения интенсивности осадок уменьшилась и интенсивность роста ширины раскрытия контактного шва. Однако в настоящее время осадки нельзя назвать стабилизированными. При этом следует отметить,

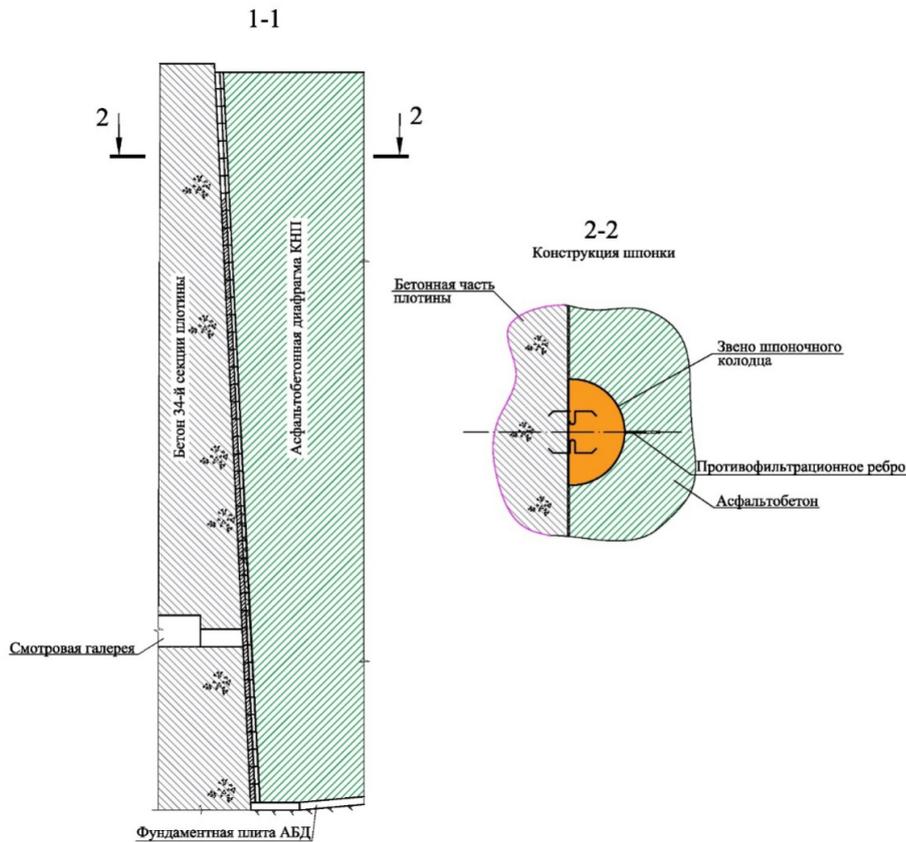


Рис. 2. Конструкция примыкания асфальтобетонной диафрагмы к секции № 34 бетонной плотины

Fig. 2. Structure of the asphalt concrete diaphragm junction with section No. 34 of the concrete dam

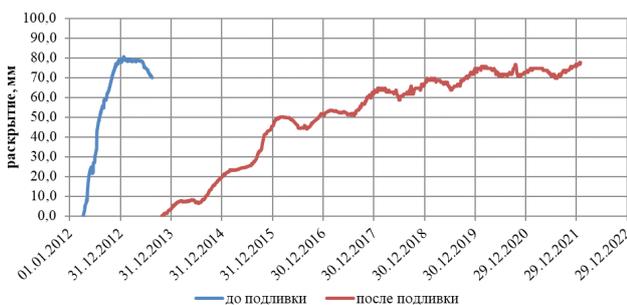


Рис. 3. Ширина раскрытия контактного шва между АБД и секцией № 34, мм

Fig. 3. The width of the contact seam opening between ABD and section No. 34, mm

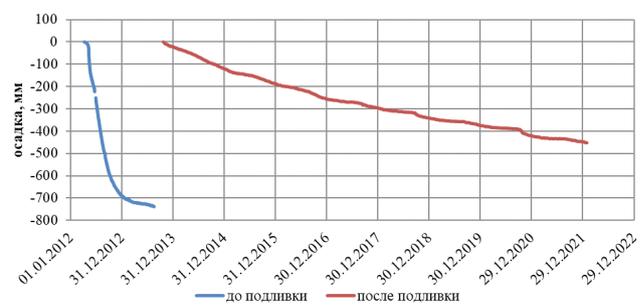


Рис. 4. Графики осадки АБД относительно секции № 34, мм

Fig. 4. Graphs of ABD settlement relative to section No. 34, mm

что в конце 2013 г. производились работы по замене штатива для измерения относительных смещений АБД и секции № 34, а также по подливке асфальтовой мастики в шахту до требуемого уровня. В конце 2013 г. наблюдения были возобновлены и начались с нуля.

Подведя итоги анализа влияния нагрузок и воздействий на ширину раскрытия контактного шва между секцией № 34 и АБД, можно прийти к выводу о том, что основной вклад в раскрытие контактного шва вносит осадка АБД и КНП (по маркам, установленным на бермах низовой упорной призмы) при наполнении водохранилища.

Важнейшим показателем состояния сопряжения бетонной плотины и КНП является ширина раскрытия контактного шва между АБД и бетонной секцией № 34.

Материалы и методы исследований. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС проводились на основе конечно-элементного моделирования комплекса сооружений гидроузла в рамках вычислительного программного комплекса «ANSYS».

Для проведения расчетных исследований НДС сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин была разработана пространственная постоянно действующая конечно-элементная модель «бетонная плотина (секции № 30-34) – участок каменно-набросной плотины – фрагмент скального основания», которая является неотъемлемой составной частью системы мониторинга. При моделировании грунтов участка КНП использовалась теория Кулона-Мора и упрочняющаяся модель «Soft Soil».

Пространственная конечно-элементная модель системы «бетонная плотина (секции № 30-34) – участок каменно-набросной плотины – фрагмент скального основания» представлена на рисунке 5.

Расчеты НДС сопрягающих секций бетонной плотины № 30, 31, 32, 33 и 34 и участка каменно-набросной плотины (протяженностью 180 м) выполнялись с учетом их поэтапного возведения в рамках 20 этапов (этапы № 1-20).

Наполнение водохранилища до отметки НПУ было смоделировано в рамках 29 расчетных этапов (№ 21-50). На этапах наполнения водохранилища и последующей эксплуатации до настоящего времени моделировалась температура воздуха и воды в водохранилище, а также положение уровней воды верхнего и нижнего бьефов в соответствии с графиками, представленными на рисунке 6.

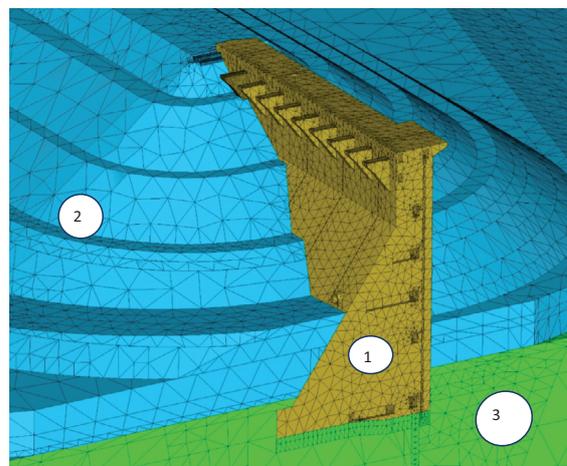


Рис. 5. Пространственная конечно-элементная модель системы «бетонная плотина (секции № 30-34) – участок каменно-набросной плотины – фрагмент скального основания» (фрагмент):
1 – сопрягающие секции бетонной плотины;
2 – участок каменно-набросной плотины;
3 – основание

Fig. 5. Spatial finite element model of the system “concrete dam (sections Nos. 30-34) – section of the rock-fill dam – a fragment of the rocky foundation” (fragment):
1 – connecting sections of the concrete dam;
2 – section of the rock-fill dam; 3 – base

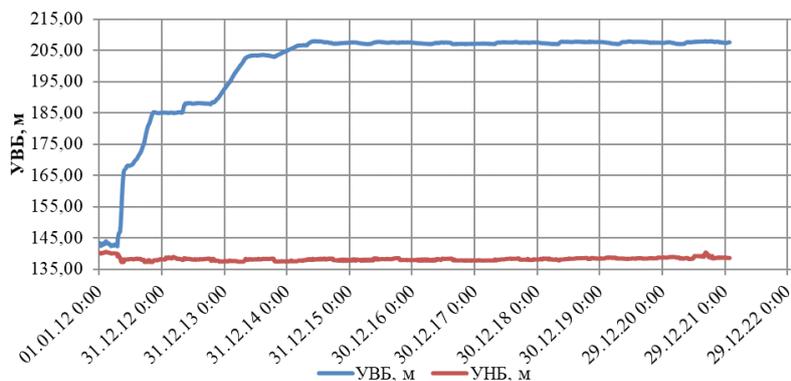


Рис. 6. Уровни воды верхнего и нижнего бьефов, м
Fig. 6. Upstream and downstream water levels, m

При моделировании особого сочетания нагрузок и воздействий учитывалось возможное нарушение работы дренажа, в том числе для года с минимальной среднемесячной температурой воздуха.

Нормативная сейсмичность района расположения Богучанской ГЭС в соответствии с положениями СП.14.13330.2018 составляет 6 баллов. Проведение расчетов при сейсмических воздействиях не потребовалось.

Результаты и их обсуждение. Анализ НДС сопряжения бетонной плотины с каменно-набросной плотиной был выполнен с учетом результатов проведенных расчетов на основе пространственной конечно-элементной модели сопряжения бетонной плотины с КНП. При этом на основе расчетов были получены значения осадок и горизонтальных смещений АБД, ширины раскрытия контактного шва между АБД и секцией № 34 бетонной плотины, которые связаны между собой.

На основной протяженности АБД (в сторону правобережного примыкания) расчетные значения осадки АБД достигают 621 мм. Имеются натурные данные, которые зафиксированы в другой зоне АБД. С момента начала наполнения водохранилища после переустановки планово-высотных пунктов осадка составила 146 мм. В процессе осадок АБД скользит по наклонной грани секции № 34 бетонной плотины, тем самым осадки в области сопряжения АБД и бетонной плотины меньше, чем на остальной протяженности, и составляют 64 мм. По результатам натурных наблюдений с начала 2017 г. после установки новых планово-высотных пунктов осадка АБД на пикете ПК12+01,68 (расположенном не рядом, а на удалении от примыкания АБД к бетонной плотине) составляет 146 мм.

Горизонтальные смещения поперек потока в районе контакта АБД и секции № 34 (весенний период) показаны в виде цветовых полей на рисунке 7.

При неравномерности осадки АБД и «зависании» ее на бетонной плотине они обуславливают раскрытие контактного шва между АБД и секцией № 34 бетонной плотины, величина которого фиксируется лазерным дальномером.

Расчетное значение ширины раскрытия контактного шва составляет 146 мм. При этом следует отметить, что замеренное значение ширины раскрытия этого шва составило 80 мм в начале 2013 г., а в настоящее время оно составляет 77 мм – после того, как в декабре 2013 г. измерения начались с нуля, то есть фактическая

суммарная ширина раскрытия контактного шва составляет 157 мм.

Сравнение расчетных значений ширины раскрытия контактного шва и измеренных значений после перемонтажа штатива и подливки асфальтовой мастики в шахту представлено на рисунке 8. Как следует из рисунка, натурные и расчетные данные хорошо согласуются друг с другом.

Критерием безопасности К1 для ширины раскрытия контактного шва «АБД-секция № 34 бетонной плотины» является равенство $1,5 \cdot \Delta Y_{i-1} = \Delta Y_i - 4\delta$. Превышением критерия К1 является выполнение неравенства $1,5 \cdot \Delta Y_{i-1} < \Delta Y_i - 4\delta$, где ΔY_i и ΔY_{i-1} – приращение показаний дальномера по оси Y за текущий и предшествующий циклы наблюдений соответственно; δ – погрешность измерения (1 мм).

Для последних циклов измерения имеем:

$$\Delta Y_i = +0,1 \text{ мм}, \Delta Y_{i-1} = -0,1 \text{ мм}.$$

Левая часть неравенства составляет $-0,15$ мм. Правая часть неравенства составляет $-3,9$ мм. Неравенство приобретает вид: $-0,15 \text{ мм} > -3,9 \text{ мм}$, то есть превышение критерия безопасности не отмечается.

Для инженерного персонала службы эксплуатации ГЭС разработанные критерии безопасности перевести в физические величины затруднительно.

Из анализа горизонтальных смещений вдоль потока можно сделать вывод о том, что основной вклад в эти смещения вносят осадки

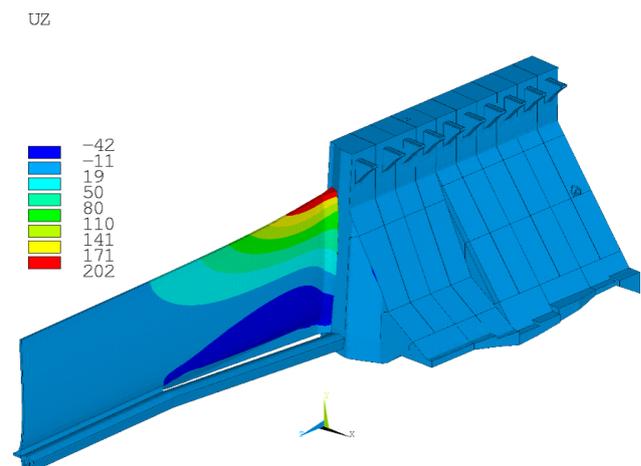


Рис. 7. Горизонтальные смещения, мм, поперек потока в области контакта АБД и секции № 34 при НПУ (основное сочетание нагрузок в весенний период)

Fig. 7. Horizontal displacements (mm) across the flow in the contact ABD area and section No. 34 at the NPU

(the main combination of loads in the spring period)



Рис. 8. Сопоставление расчетных и измеренных значений ширины раскрытия контактного шва между АБД и секцией № 34 после перемонтажа штатива и подливки асфальтовой мастики в шахту

Fig. 8. Comparison of calculated and measured values of the opening width of the contact joint between the ABD and section No. 34 after remounting the tripod and pouring asphalt mastic into the shaft

марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП.

Водонепроницаемость контактного шва между АБД и секцией № 34 бетонной плотины обеспечивается за счет установленных латунных шпонок, проходящих по центру контактного шва «АБД – бетонная плотина» на всю высоту.

Выводы

1. Наиболее ответственным участком напорного фронта Богучанской ГЭС является сопряжение бетонной плотины с каменно-набросной плотинной. При этом особенностью Богучанской ГЭС является наличие противотрационного элемента – асфальтобетонной диафрагмы, которая выполняется по специальной технологии из литой гидротехнической асфальтобетонной смеси, укладываемой в разогретом состоянии.

2. Наиболее ярким показателем состояния сопряжения бетонной плотины и КНП является ширина раскрытия контактного шва между АБД и бетонной секцией № 34.

3. Для проведения расчетных исследований НДС сопряжения бетонной плотины и каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС была разработана пространственная постоянно действующая конечно-элементная модель «бетонная плотина (секции № 30-34) – участок каменно-набросной плотины – фрагмент скального основания», которая является неотъемлемой составной частью системы мониторинга.

4. Расчеты НДС сопряжения секций № 30-34 бетонной плотины и участка каменно-набросной плотины (протяженностью 180 м) выполнены на основе разработанной

и откалиброванной пространственной постоянно действующей конечно-элементной модели с учетом их поэтапного возведения, данных натурных наблюдений и отклонений от проектных предпосылок.

5. Основной вклад в раскрытие контактного шва между АБД и секцией № 34 бетонной плотины вносит деформация низовой упорной призмы КНП, отражаемая в виде роста осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП.

Расчетное значение ширины раскрытия контактного шва между АБД и секцией № 34 бетонной плотины составляет 146 мм. При этом замеренное значение ширины раскрытия этого шва составило 80 мм в начале 2013 г., а в настоящее время оно составляет 77 мм – после того, как в декабре 2013 г. измерения начались с нуля, то есть фактическая суммарная ширина раскрытия контактного шва составляет 157 мм.

Измеренные значения ширины раскрытия контактного шва не превышают критериев безопасности.

Для инженерного персонала службы эксплуатации ГЭС разработанные критерии безопасности перевести в физические величины затруднительно.

6. Представленные выше результаты не вызывают опасений, так как предусмотрена проектная система обогрева шпоночного колодца с асфальтовой мастикой, которая позволяет выполнить мероприятия по закрытию контактного шва. Состояние каменно-набросной плотины и асфальтобетонной диафрагмы на данный момент соответствует проектным предпосылкам.

Список использованных источников

1. Уточнение технических решений проекта Богучанской ГЭС с НПУ водохранилища 208,0 м. М.: ОАО «Институт Гидропроект», 2008.
2. Богучанская ГЭС на реке Ангаре. Уточнение технических решений проекта с НПУ 208,0 м в связи с изменением схемы электрических соединений на напряжении 220 кВ и 500 кВ в составе генерирующего объекта Богучанской ГЭС. Т. 1, 2. М.: Институт Гидропроект, 2010.
3. **Sainov M.P., Poslykhalin Y.A.** Asphaltic Concrete Cores of Embankment Dams: a Review; 2021; AlfaBuild; Vol. 18, № 1801. DOI: 10.34910/ALF.18.1.
4. **Дымант А.Н.** Особенности выполнения литых асфальтобетонных диафрагм грунтовых плотин при низких температурах / Касаткин Ю.Н., Кузнецов Е.И., Успенский В.В. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2009. Т. 254. С. 59-65.
5. **Дымант А.Н., Кузнецов Е.И., Прокопович В.С.** Литые асфальтобетонные диафрагмы грунтовых плотин // Гидротехническое строительство. 2011. № 9. С. 47-54.
6. **Дымант А.Н., Кузнецов Е.И., Прокопович В.С.** Опыт возведения литой асфальтобетонной диафрагмы каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС // Гидротехника XXI век. 2012. № 5 (12). С. 20-25.
7. **Feng S., Wang W., Hu W., Deng Y., Yang J., Wu S., Zhang C., Höeg K.** Design and performance of the Quxue asphalt-core rockfill dam // Soils and Foundations. 2020. № 60 (4). Pp. 1036-1049. DOI: 10.1016/j.sandf.2020.06.008.
8. **Uspenskii V.V., Kuznetsov E.I.** Analysis and prediction of asphalt-concrete core wall settlement of the Boguchany HPP rockfill dam during the period of construction completion // Power Technology and Engineering. 2017. № 50 (5). Pp. 501-505. DOI: 10.1007/s10749-017-0739-6.
9. **Wang Z., Hao J., Yang J., Cao Y., Li X., Liu S.** Experimental study on hydraulic fracturing of high asphalt concrete core rock-fill dam. Applied Sciences (Switzerland). 2019. № 9 (11). Pp. 1-17. DOI: 10.3390/app9112285.
10. **Gao J., Dang F., Ma Z.** ScienceDirect Investigation for the key technologies of ultra-high asphalt concrete core rockfill dams // Soils and Foundations. 2019. № 59 (6). P. 17401757. DOI: 10.1016/j.sandf.2019.07.013. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.07.013>.
11. **Gao J., Dang F., Ma Z., Xue Y., Ren J.** Improvement Methods for Reduction of the High Stress of Ultra-High Asphalt Concrete Core Dams // Applied sciences. Oct. 2019. № 9 (21). P. 4618. DOI: 10.3390/app9214618.
12. **Вольтычиков А.Н., Газиев Э.Г.** Поведение бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС в период наполнения водохранилища (2012-2015 гг.) // Гидротехническое строительство. 2015. № 12. С. 13-23.
13. **Баклыков И.В.** Анализ поведения сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС в период наполнения // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2014. № 273. С. 84-95.

References

1. Clarification of technical solutions of the project of the Boguchanskaya HPP with the NPU of the reservoir of 208.0 m. Moscow: OAO "Institute Hydroproject", 2008.
2. Boguchanskaya Hydroelectric Power Plant on the Angara River. Clarification of the technical solutions of the project with a 208.0 m NPU due to a change in the electrical connection scheme at 220 kV and 500 kV as part of the generating facility of the Boguchanskaya HPP. T/ 1-2. Moscow: Institute Hydroproject, 2010.
3. **Sainov M.P.; Poslykhalin Y.A.** Asphaltic Concrete Cores of Embankment Dams: a Review; 2021; AlfaBuild; Volume 18 Article No 1801. doi: 10.34910/ALF.18.1
4. **Dymant A.N.** Features of the performance of cast asphalt concrete diaphragms of ground dams at low temperatures / Kasatkin Yu.N., Kuznetsov E.I., Uspenskiy V.V. // Izvestiya of VNIIG named after B.E. Vedeneev. 2009. V. 254. P. 59-65.
5. **Dymant A.N., Kuznetsov E.I., Prokopovich V.S.** Cast asphalt concrete diaphragms of ground dams. // Hydraulic engineering construction. 2011. № 9. P. 47-54.
6. **Dymant A.N., Kuznetsov E.I., Prokopovich V.S.** Experience in the construction of a cast asphalt concrete diaphragm of the stone-fill dam of the Boguchanskaya hydroelectric power plant // Hydrotechnics of the XXI century. 2012. № 5 (12). P. 20-25.
7. **Feng S., Wang W., Hu W., Deng Y., Yang J., Wu S., Zhang C., Höeg K.** Design and performance of the Quxue asphalt-core rockfill dam. Soils and Foundations. 2020. 60(4). Pp. 1036-1049. DOI: 10.1016/j.sandf.2020.06.008.
8. **Uspenskii V.V., Kuznetsov E.I.** Analysis and prediction of asphalt-concrete core wall settlement of the Boguchany HPP rockfill dam during the period of construction completion. Power Technology and Engineering. 2017. 50(5). Pp. 501-505. DOI: 10.1007/s10749-017-0739-6.
9. **Wang Z., Hao J., Yang J., Cao Y., Li X., Liu S.** Experimental study on hydraulic fracturing of high asphalt concrete core rock-fill dam. Applied Sciences (Switzerland). 2019. 9(11), P. 1-17. DOI: 10.3390/app9112285.
10. **Gao J., Dang F., Ma Z.** ScienceDirect Investigation for the key technologies of ultra-high asphalt concrete core rockfill dams. Soils and Foundations. 2019. 59(6). P. 1740-1757. DOI: 10.1016/j.sandf.2019.07.013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.07.013>.
11. **Gao J., Dang F., Ma Z., Xue Y., Ren J.** Improvement Methods for Reduction of the High Stress of Ultra-High Asphalt Concrete Core Dams. Oct. 2019. Applied sciences 9(21):4618. DOI: 10.3390/app9214618.
12. **Volynchikov A.N., Gaziev E.G.** Behavior of the concrete and rock-fill dams of the Boguchanskaya hydroelectric power plant during the period of filling the reservoir (2012-2015) // Hydrotechnical construction. 2015. № 12. P. 13-23.
13. **Baklykov I.V.** Analysis of the behavior of the conjugation of concrete and rock-fill dams of the Boguchanskaya Hydroelectric Power Plant in the period of filling // Proceedings of the All-Russian scientific research institute of hydraulic engineering named after B.E. Vedeneev. 2014. № 273. P. 84-95.

Об авторах

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

Олег Дмитриевич Рубин, д-р техн. наук, директор филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС», профессор НИУ МГСУ; SPIN-код: 2720-6627, AuthorID: 423001, Scopus: 7004427140, Researcher ID: AAE-6688-2022, ORCID: 0000-0002-0630-3251, o.rubin@hydroproject.ru

Сергей Владимирович Юрьев, инженер, заместитель главного инженера по основным сооружениям АО «Институт Гидропроект»; ORCID: 0000-0002-2609-2711; s.yurev@hydroproject.ru

Сергей Евгеньевич Лисичкин, д-р техн. наук, главный специалист филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС», SPIN-код: 5423-0643, AuthorID: 368472, Scopus: 6603919071, ORCID: 0000-0003-2761-331X, lisichkin1989@rambler.ru

Игорь Вячеславович Баклыков, инженер, ведущий специалист филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС», SPIN-код: 7987-9045, AuthorID: 915462, Scopus: 56538614100, ORCID: 0000-0002-8374-9046, i.baklykov@hydroproject.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Беллендир Е.Н., Рубин О.Д., Юрьев С.В., Лисичкин С.Е., Баклыков И.В. выполнили 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 конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов

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

Статья поступила в редакцию / The article was submitted to the editorial office 27.10.2023

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

Author information

Evgeniy N. Bellendir, Doctor of Technical Sciences, General director of JSC "Institute Hydroproject"; SPIN code: 7975-2841, AuthorID: 272223; e.bellendir@hydroproject.ru

Oleg D. Rubin, Doctor of Technical Sciences, Director of the branch of JSC "Institute Hydroproject" – "NIIES", Professor of the National Research University MGSU; SPIN code: 2720-6627, AuthorID: 423001, Scopus: 7004427140, Researcher IDAAE-6688-2022, ORCID: 0000-0002-0630-3251, o.rubin@hydroproject.ru

Sergey V. Yuriev, Engineer, Deputy Chief Engineer for main structures, Institute Hydroproject; ORCID: 0000-0002-2609-2711; s.yurev@hydroproject.ru

Sergey E. Lisichkin, doctor of technical science, chief specialist of the branch of JSC "Institute Hydroproject" – "NIIES", SPIN-code: 5423-0643, AuthorID: 368472, Scopus: 6603919071, ORCID: 0000-0003-2761-331X, lisichkin1989@rambler.ru

Igor V. Baklykov, Engineer, Leading Specialist of the branch of JSC "Institute Hydroproject" – "NIIES", SPIN-code: 7987-9045, AuthorID: 915462, Scopus: 56538614100, ORCID: 0000-0002-8374-9046, i.baklykov@hydroproject.ru

Bellendir E.N., Rubin O.D., Yuriev S.V., Lisichkin S.E., Baklykov I.V. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-57-65>

УДК 626.8:624.082



УГОЛКОВЫЕ ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КОНСОЛЯМИ В ВИДЕ ОБОЛОЧЕК И СКЛАДОК

Т.В. Варламова^{1✉}, Т.К. Ксенофонтова²¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.; 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, Россия

Аннотация. Предмет исследований – железобетонные угловые подпорные стены, широко используемые в гидротехническом строительстве. Оптимизация формы вертикальной консоли угловых подпорных стен является важной для уменьшения внутренних усилий и повышения устойчивости конструкций. При замене плоских панелей пространственными конструкциями в консоли уменьшаются изгибающие моменты; преимущественная работа конструкций на сжатие или растяжение позволяет уменьшить их толщину за счет более эффективного использования материалов. Целью исследований явилось определение оптимальной формы и характера армирования вертикальных консолей подпорных стен в зависимости от их высоты. Исследования проводились в сертифицированном программном комплексе «ЛИРА-САПР 2021». Разработаны расчетные модели угловых подпорных стен с консолями в виде многоволновых цилиндрических оболочек и складок. В местах сопряжения волн и граней складок предусмотрены стойки, заземленные в грунте. Выполнены сравнительные расчеты конструкций в программном комплексе «ЛИРА-САПР 2021». Проанализированы результаты расчетов. Сделаны выводы по оптимизации конструкций подпорных стен с вертикальной консолью в виде оболочек и складок. Исследования показали, что при высоте подпорной стенки до 3 м более рациональной по расходу материалов является подпорная стена с консолью в виде многоволновой оболочки. При высоте более 3 м рациональными становятся подпорные стены с консолью в виде складок с вертикальными стойками в местах сопряжения граней. Для консолей в виде оболочек рекомендуется двойное армирование с увеличением площади арматуры в нижней части и на участках сопряжения смежных волн. Для консолей в виде складок рекомендуется также двойное армирование, но дополнительная арматура требуется лишь в зоне сопряжения панелей с фундаментной плитой.

Ключевые слова: подпорная стена, железобетон, консоль, вертикальная панель, оболочка, складка, стойка, давление грунта, внутренние усилия

Формат цитирования: Варламова Т.В., Ксенофонтова Т.К. Угловые подпорные стены с вертикальными консолями в виде оболочек и складок // Природообустройство. 2024. № 1. С. 57-65. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-57-65>

Original article

CORNER RETAINING WALLS WITH VERTICAL CONSOLES IN THE FORM OF SHELLS AND FOLDS

T.V. Varlamova^{1✉}, T.K. Ksenofontova²¹ Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A. 77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054. Russia² Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev. Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 44, B. Akademicheskaya, Moscow, 127434. Russia

Abstract. The subject of the study is reinforced concrete corner retaining walls, widely used in hydraulic engineering construction. Optimization of the shape of the vertical console of corner retaining walls is important to reduce internal forces and increase the stability of structures. When replacing flat panels with spatial structures in the console, bending moments are reduced; the predominant work of structures for compression or stretching allows reducing their thickness due to more efficient use of materials. The purpose of the study is to determine the optimal shape and nature of reinforcement of vertical retaining wall consoles, depending on their height. The study was conducted in the certified software package “LIRA-CAD2021”. Computational models of corner retaining walls with consoles in the form of multi-wave cylindrical shells and folds have been developed. At the junctions of the waves

and the edges of the folds, racks are provided, pinched in the ground. Comparative calculations of structures in the software package "LIRA-CAD2021" were performed. The results of calculations are analyzed. Conclusions are drawn on the optimization of the structures of retaining walls with a vertical console in the form of shells and folds. The study showed that with a retaining wall height of up to 3 m, a retaining wall with a console in the form of a multi-wave shell is more rational in terms of material consumption. At a height of more than 3 m, retaining walls with a console in the form of folds with vertical posts at the interface of the faces become rational. For consoles in the form of shells, double reinforcement is recommended with an increase in the area of the reinforcement in the lower part and at the interface areas of adjacent waves. For consoles in the form of folds, double reinforcement is also recommended, but additional reinforcement is required only in the area of the interface of the panels with the foundation plate.

Keywords: retaining wall, reinforced concrete, console, vertical panel, shell, fold, post, ground pressure, internal forces

Format of citation: Varlamova T.V., Ksenofontova T.K. Corner retaining walls with vertical consoles in the form of shells and folds // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 57-65. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-57-65>

Введение. В современном гидротехническом строительстве наиболее распространенным видом подпорных стен являются железобетонные подпорные стены уголкового типа. Использование грунта засыпки для обеспечения устойчивости конструкций против сдвига и опрокидывания позволяет снизить материалоемкость и стоимость возведения подпорных стен. Однако для обеспечения устойчивости высоких подпорных стен требуются значительные размеры фундаментной плиты, что приводит к увеличению расхода строительных материалов и объема земляных работ. Кроме того, в зоне сопряжения вертикальной консоли с фундаментной плитой возникают значительные изгибающие моменты, для восприятия которых требуются увеличение толщины консоли и дополнительное армирование.

Для железобетонных подпорных стен уголкового типа актуальной является задача оптимизации формы вертикальной консоли для уменьшения внутренних усилий, более рационального распределения материала и повышения устойчивости конструкций.

Проблемой снижения материалоемкости и повышения устойчивости подпорных стен путем изменения их формы и размеров занимались ученые А.Н. Тетиор [1], А.Я. Будин [2], Е.А. Корчагин [3], В.П. Гамаюнов [4], Т.К. Ксенофонта [5] и др. [6-8, 10-16]. Для оптимизации конструкции уголковой подпорной стены предлагаются [1, 2, 6] варианты замены плоской вертикальной консоли на пространственную в виде оболочек или складок. Рациональное изменение формы вертикальной консоли способствует повышению ее жесткости, устойчивости, оптимизации внутренних усилий. При замене плоских вертикальных плит на пространственные конструкции

происходит уменьшение изгибающих моментов; преимущественная работа конструкций на сжатие или растяжение позволяет уменьшить их толщину за счет более эффективного использования материалов.

Цель исследований: определение рациональной формы вертикальной консоли подпорной стены в зависимости от ее высоты по критериям расхода бетона и арматуры, определение характера армирования железобетонной вертикальной консоли пространственной формы.

Материалы и методы исследований. Проведенные ранее исследования [1, 2, 6] показали, что рациональными формами вертикальных плит пространственных подпорных стен являются многоволновые короткие цилиндрические оболочки и складки. Для уменьшения растягивающих усилий от активного давления грунта цилиндрические оболочки рекомендуется ориентировать выпуклостью в сторону грунта.

Для уменьшения внутренних усилий и повышения устойчивости конструкций против сдвига в местах сопряжения отдельных волн целесообразно устраивать железобетонные или стальные стойки, нижняя часть которых анкеруется в грунте аналогично сваям [1, 6].

Для выявления особенностей напряженно-деформированного состояния подпорных стен с лицевыми плитами в виде оболочек были проведены численные исследования с использованием программного комплекса «ЛИРА-САПР 2021». Исследования проводились на расчетных моделях подпорных стен уголкового типа с вертикальными панелями трех видов:

1) в виде цилиндрических оболочек, направленных выпуклостью в сторону грунта засыпки, со стойками в местах сопряжения волн (рис. 1а);

2) в виде складок, в которых передние вертикальные ребра сопряжения граней усилены стойками, заземленными в грунте (рис. 1б);

3) в виде складок, в которых все вертикальные ребра усилены стойками, заземленными в грунте (рис. 1в).

Принятая длина волны оболочек составила около 6 м, что позволит разместить на нижних площадках элементы благоустройства, освещения, озеленения. На горизонтальных площадках по верху подпорной стены могут размещаться цветники, вьющиеся растения, декоративные кустарники и другие элементы озеленения, актуальные в городской среде [1]. При устройстве железобетонных подпорных стен из сборных элементов такая длина волны упростит их изготовление, транспортировку и монтаж.

В расчетных моделях подпорных стен приняты следующие размеры элементов: толщина фундаментной плиты – 300 мм; толщина вертикальной плиты – 200 мм. Радиус кривизны цилиндрических оболочек принят равным 3 м, волна оболочки ограничена центральным углом 120° . Длина панелей складок также принята равной 3 м, угол между смежными гранями складок – 120° . Рассмотрены варианты подпорных стен высотой от 1,8 до 4,8 м. Приняты стойки железобетонные с размерами

поперечного сечения 300×300 мм. Класс бетона железобетонных конструкций – В20, класс рабочей арматуры – А500С. Расчет подпорных стен производился с учетом особенностей поверочных расчетов подпорных стен гидротехнических сооружений [8]. При этом определение зон образования трещин производилось по методике [9].

В расчетной модели учтены постоянные нагрузки от собственного веса подпорной стены, грунта засыпки и временные нагрузки на поверхности грунта. Плотность грунта засыпки принята равной $1,8 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 24° . На поверхность грунта действует равномерно распределенная временная длительная нагрузка 2 кН/м^2 . Упругое основание под подошвой фундаментной плиты моделировалось с помощью двух коэффициентов постели по гипотезе П.Л. Пастернака.

Местные оси пластин $X1$ направлены по горизонтали, местные оси $Y1$ – по вертикали, местные оси $Z1$ – в направлении толщины пластин.

Результаты и их обсуждение. Характер распределения основных внутренних усилий (изгибающих моментов M_x , M_y и продольных усилий N_x , N_y) в вертикальных консолях подпорных стен трех типов при высоте консоли 3 м представлен на рисунках 2-4.

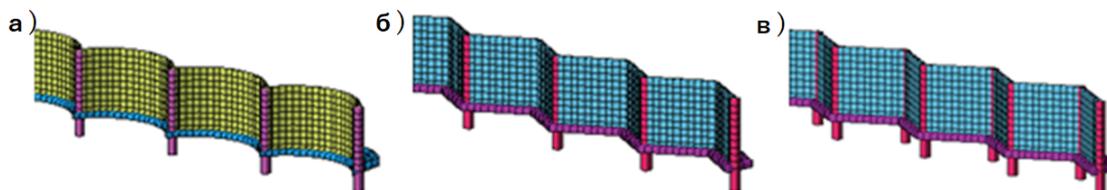


Рис. 1. Расчетные модели уголкового подпорных стен:

- а – с вертикальными панелями в виде многоволновой цилиндрической оболочки и стойками через 6 м;
 б – с вертикальными панелями в виде складок и стойками через 6 м;
 в – с вертикальными панелями в виде складок и стойками через 3 м

Fig. 1. Design models of corner retaining walls:

- a – with vertical panels in the form of a multi-wavelength cylindrical shell and posts at intervals of 6 m;
 b – with vertical panels in the form of folds and posts every 6 m;
 c – with vertical panels in the form of folds and posts at intervals of 3 m

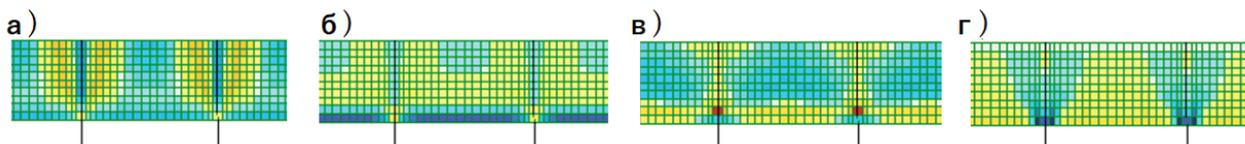


Рис. 2. Мозаики внутренних усилий в вертикальных консолях в виде многоволновой цилиндрической оболочки высотой 3 м:

- а – изгибающие моменты M_x ; б – изгибающие моменты M_y ;
 в – продольные усилия N_x ; г – продольные усилия N_y

Fig. 2. Mosaics of internal forces in vertical consoles in the form of a multi-wave cylindrical shell with a height of 3 m:

- a – bending moments M_x ; b – bending moments M_y ; c – longitudinal forces N_x ; d – longitudinal forces N_y

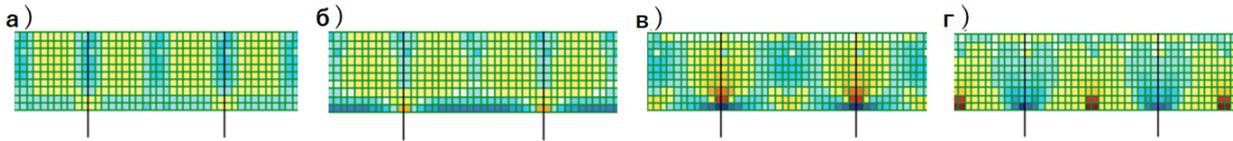


Рис. 3. Мозаики внутренних усилий в вертикальных консолях в виде складок высотой 3 м со стойками через 6 м:

а – изгибающие моменты M_x ; б – изгибающие моменты M_y ;
в – продольные усилия N_x ; г – продольные усилия N_y

Fig. 3. Mosaics of internal forces in vertical consoles in the form of folds of 3 m high with posts at intervals of 6 m:

a – bending moments M_x ; b – bending moments M_y ; c – longitudinal forces N_x ; d – longitudinal forces N_y

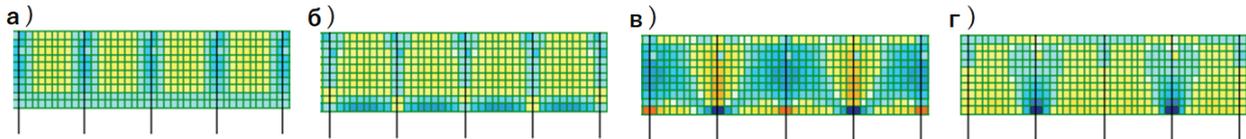


Рис. 4. Мозаики внутренних усилий в вертикальных консолях в виде складок высотой 3 м со стойками через 3 м:

а – изгибающие моменты M_x ; б – изгибающие моменты M_y ;
в – продольные усилия N_x ; г – продольные усилия N_y

Fig. 4. Mosaics of internal forces in vertical consoles in the form of folds of 3 m high with posts every 3 m:

a – bending moments M_x ; b – bending moments M_y ; c – longitudinal forces N_x ; d – longitudinal forces N_y

Продольные усилия N_x действуют в горизонтальном направлении, продольные усилия N_y – в вертикальном направлении, при этом знак «+» соответствует растяжению.

Изгибающий момент M_x действует в вертикальном сечении панели, при этом знак «←» соответствует растяжению грани со стороны грунта. Момент M_y действует в горизонтальном сечении панели, и знак «→» также соответствует растяжению грани со стороны грунта.

В таблице 1 приведены значения изгибающих моментов M_x , M_y , продольных усилий N_x и N_y для трех видов вертикальных панелей высотой от 1,8 до 4,8 м.

Значения изгибающих моментов M_z и продольных сил N в стойках подпорных стен для трех видов конструктивных решений приведены в таблице 2.

На рисунке 5 представлены графики зависимости внутренних усилий в стойках в зависимости от высоты подпорной стены.

В целях сравнения рассмотренных вариантов конструктивного решения подпорных стен в программном комплексе «ЛИРА-САПР 2021» был выполнен расчет подпорных стен по предельным состояниям I и II групп и определен расход материалов. Сравнение вариантов подпорных стен по расходу бетона и арматуры приведено в таблице 3.

Графики зависимости расхода бетона и арматуры от формы и высоты стены представлены на рисунке 6.

В подпорных стенах с консолью в виде многоволновой оболочки продольные усилия N_x в горизонтальном направлении сжимают центральную часть волны и растягивают участки оболочки, примыкающие к стойкам и фундаментной плите. Максимальные растягивающие продольные усилия N_x действуют в нижней части стены в местах примыкания оболочки к стойкам. Продольные усилия N_y возрастают по направлению сверху вниз; в нижней части стены в местах примыкания оболочки к стойкам, сжимающие продольные усилия N_y достигают максимума.

Расчеты показали, что при высоте стены до 3,6 м значения моментов в оболочке невелики, но при дальнейшем увеличении высоты стены наблюдается существенное увеличение момента M_y .

Сравнение значений внутренних усилий в подпорных стенах в виде оболочек и складок при шаге стоек 6 м показало, что в элементах складок величины моментов M_x и M_y значительно больше, чем в элементах оболочек. Представленные на рисунке 3а, 3б мозаики моментов показывают, что грани складок в основном испытывают сжатие со стороны грунта, и это способствует повышению долговечности железобетонных панелей. Растяжение внутренней поверхности наблюдается в зонах сопряжения панелей между собой, с фундаментной плитой и вертикальными стойками.

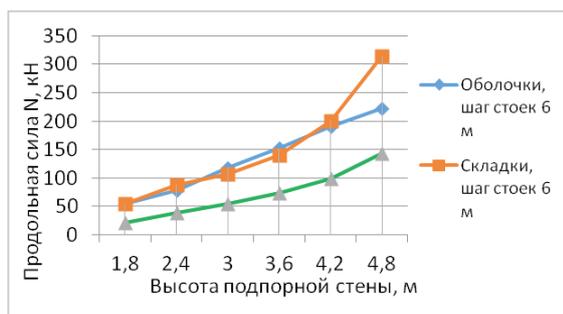
В подпорных стенах с консолью в виде складок (рис. 3в, 3г) вдоль ребер складок со стороны

Таблица 1. Внутренние усилия в вертикальных панелях подпорных стен
Table 1. Internal forces in vertical retaining wall panels

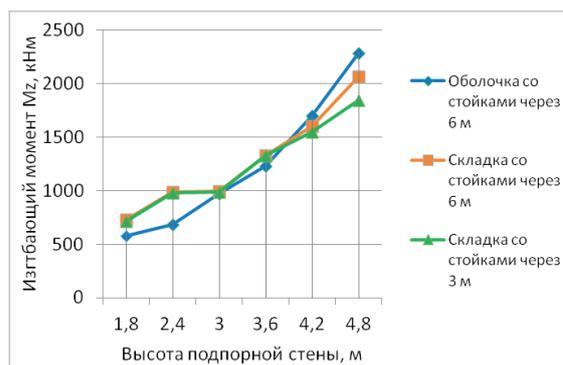
Высота стены, м Wall height, m	Внутренние усилия / Internal forces			
	M_x , кН*м/м	M_y , кН*м/м	N_x , кН/м ²	N_y , кН/м ²
Вертикальные панели в виде многоволновой цилиндрической оболочки, шаг стоек 6 м <i>Vertical panels in the form of multi-wave cylindrical shell, 6 m posts spacing</i>				
1,8	-1,59...1,41	-2,76...0,676	-251...504	-641...185
2,4	-2,37...2,38	-4,54...0,874	-412...694	-907...287
3,0	-3,60...3,47	-8,2...1,24	-617...1060	-1400...508
3,6	-4,94...4,34	-12,3...1,64	-851...1340	-1900...710
4,2	-6,42...5,06	-18,1...2,06	-1120...1630	-2490...986
4,8	-7,68...5,36	-25,1...2,36	-1360...1930	-3280...1350
Вертикальные панели в виде складок, шаг стоек 6 м / Vertical panels in the form of folds, 6 m posts spacing				
1,8	-6,17...1,82	-4,33...4,98	-150...261	-257...134
2,4	-9,49...2,82	-9,49...6,99	-194...377	-396...361
3,0	-12,6...3,66	-12,6...6,8	-399...356	-660...686
3,6	-17,0...4,47	-20,4...9,17	-722...410	-815...1210
4,2	-16,6...5,51	-29,0...6,42	-959...639	1250...1960
4,8	-19,7...5,45	-36,3...6,55	-1360...1250	1970...3300
Вертикальные панели в виде складок, шаг стоек 3 м / Vertical panels in the form of folds, 6 m posts spacing				
1,8	-3,66...1,17	-5,67...0,539	-154...63,1	-248...139
2,4	-5,81...1,78	-12,8...1,15	-153...268	-422...255
3,0	-12,9...3,49	-12,9...3,73	-253...182	-763...310
3,6	-16,0...4,08	-22,9...4,04	-370...375	-1120...370
4,2	-21,3...5,68	-29,0...5,72	-525...517	-1660...752
4,8	-21,8...6,65	-32,0...6,73	-805...848	-2490...1480

Таблица 2. Значения внутренних усилий в стойках
Table 2. Values of internal forces in posts

Высота стены, м Wall height, m	Вид вертикальных панелей / Vertical panels view		
	Оболочки со стойками через 6 м <i>Shells with posts with 6 m spacing</i>	Складки со стойками через 6 м <i>Folds with posts with 6 m spacing</i>	Складки со стойками через 3 м <i>Folds with posts with 3 m spacing</i>
	Продольная сила N, кН / Longitudinal force N, kN		
1,8	-88,7	-112	-93
2,4	-148	-188	-197
3,0	-233	-267	-261
3,6	-337	-390	-351
4,2	-470	-534	-515
4,8	-613	-762	-792
Высота стены, м Wall height, m	Изгибающий момент M_z , кНм / Bending moment M_z , kNm		
	Оболочки со стойками через 6 м <i>Shell with posts with 6 m spacing</i>	Складки со стойками через 6 м <i>Folds with posts with 6 m spacing</i>	Складка со стойками через 3 м <i>Folds with posts with 3 m spacing</i>
	1,8	-54,2	-54,4
2,4	-79	-88,4	-38,3
3,0	-118	-107	-55,2
3,6	-152	-140	-73,0
4,2	-191	-201	-99,2
4,8	-223	-314	-143



а)



б)

Рис. 5. Графики изменения внутренних усилий в стойках в зависимости от высоты подпорной стены:

а – максимальные продольные силы N ; б – максимальные изгибающие моменты M_z

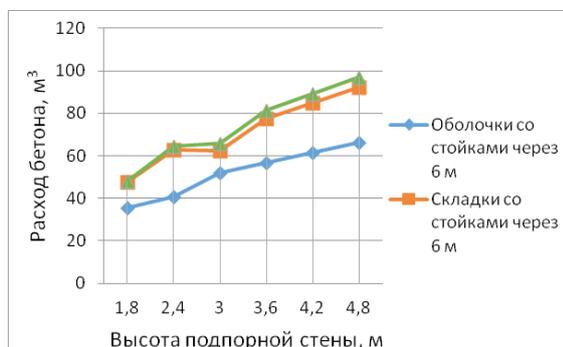
Fig. 5. Graphs of changes in the internal forces in the posts depending on the height of the retaining wall:

а – maximum longitudinal forces N ; б – maximum bending moments M_z

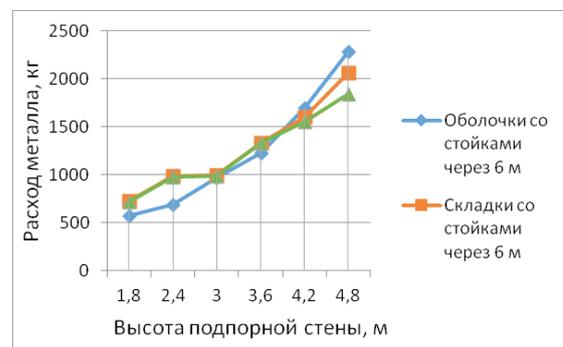
Таблица 3. Расход материалов для вариантов подпорных стен

Table 3. Material consumption for retaining wall variants

Расход бетона класса В20, м ³ / Concrete consumption of class V20, m ³						
Тип подпорной стены Type of the retaining wall	Высота подпорной стены, м Height of the retaining wall, m					
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8
Цилиндрическая оболочка со стойками через 6 м Cylindrical shell with posts at 6 m spacing	35,77	40,87	52,07	56,91	61,59	66,26
Складка со стойками через 6 м / Posts fold at 6 m spacing	47,69	62,64	62,42	77,54	84,90	92,26
Складка со стойками через 3 м / Posts fold at 3 m spacing	48,03	64,67	65,29	81,25	89,18	97,21
Расход теоретической продольной арматуры класса А500С, кг Consumption of theoretical longitudinal armature of class A500S, kg						
Тип подпорной стены Type of the retaining wall	Высота подпорной стены, м Height of the retaining wall, m					
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8
Цилиндрическая оболочка со стойками через 6 м Cylindrical shell with posts with 6 m spacing	575,29	686,33	969,14	1230,21	1696,30	2286,00
Складка со стойками через 6 м / Posts fold with 6 m spacing	729,47	987,48	997,54	1328,47	1600,40	2059,96
Складка со стойками через 3 м / Posts fold with 3 m spacing	714,53	977,19	982,7	1329,62	1549,86	1839,19



а)



б)

Рис. 6. Графики зависимости расхода материалов от высоты подпорной стены для трех вариантов конструктивного решения:

а – расход бетона; б – расход теоретической арматуры

Fig. 6. Graphs of the dependence of material consumption on the height of the retaining wall for three variants of the design solution:

а – concrete consumption, б – consumption of theoretical reinforcement

грунта панели испытывают сжатие в горизонтальном направлении и растяжение – в вертикальном направлении; вдоль ребер с лицевой стороны панели, напротив, испытывают растяжение в горизонтальном направлении и сжатие – в вертикальном. В нижних зонах сопряжения панелей между собой, сопряжения панелей со стойками и с фундаментной плитой продольные силы резко возрастают.

Сопоставление значений внутренних усилий в элементах складок со стойками через 6 м и через 3 м показывает, что снижение величин моментов M_x и M_y при более частом расположении стоек является незначительным. Уменьшение продольных усилий N_x и N_y при высоте стены до 3 м также незначительно, однако при высоте стены более 3 м влияние дополнительных стоек на величину продольных сил усиливается: при высоте стены 4,8 м снижение растягивающих и сжимающих усилия N_x достигает 40%, а снижение растягивающих усилий N_y – 50% и более.

Графики изменения внутренних усилий N , M_z в стойках в зависимости от высоты подпорной стены (рис. 5) свидетельствуют о том, что влияние формы вертикальной консоли и шага стоек на величину продольной силы N в стойках является незначительным. Максимальные значения изгибающих моментов M_z в стойках подпорных стен в виде оболочек практически линейно увеличиваются с увеличением высоты стены. Максимальные моменты в стойках складок при шаге 3 м примерно вдвое меньше соответствующих моментов в стойках оболочек при шаге 6 м, что соответствует уменьшению ширины грузовой площади для одной стойки. Однако если стойки в складках размещены с шагом 6 м, то при увеличении высоты стены более 3,6 м наблюдается резкое увеличение максимальных моментов в стойках.

Согласно графику зависимости расхода материалов от высоты подпорной стены для трех вариантов конструктивного решения (рис. 6) более экономичным по расходу бетона (рис. 6а) оказываются многоволновые цилиндрические оболочки. По расходу арматуры (рис. 6б) при высоте подпорной стены до 3 м более рациональной формой также являются оболочки, но при высоте стены более 3 м экономичными становятся подпорные стены с консолью в виде складок. При высоте стены более 3,6 м рекомендуется установка стоек по всем ребрам складок, то есть с шагом 3 м.

Выводы

Сравнение трех вариантов конструктивного решения угловых подпорных стен показало, что при высоте подпорной стены до 3 м более рациональной с точки зрения распределения усилий, расхода бетона и арматуры является подпорная стена с консолью в виде многоволновой оболочки.

При высоте стены свыше 3 м более экономичными по расходу материалов становятся подпорные стены с консолью в виде складок. В складках рекомендуется установка стоек по всем вертикальным ребрам с шагом 3 м. При этом некоторое увеличение расхода бетона оправдано уменьшением внутренних усилий в плитах и стойках, и как следствие – снижением расхода арматуры.

В соответствии с мозаиками внутренних усилий рекомендуется двойное армирование вертикальных панелей: например, сварными сетками с рабочей арматурой в двух направлениях.

В горизонтальном направлении (вдоль местной оси $X1$) на основной площади оболочек достаточно конструктивного армирования из стержней диаметром 6 мм с шагом 200 мм. На участках сопряжения смежных волн шириной около 1,5 м в каждую сторону в нижней части оболочки требуется усиление горизонтального армирования, для чего возможно уменьшение шага горизонтальных стержней в сетках до 100 мм.

В вертикальном направлении (вдоль местной оси $Y1$) на основной площади оболочки также достаточно конструктивного армирования диаметром 6 мм с шагом 200 мм. В нижней части оболочки со стороны грунта требуется дополнительное армирование стержнями диаметром 10...12 мм на высоту около 1 м.

Для вертикальных консолей в виде складок может применяться двойное армирование сетками с арматурой в обоих направлениях диаметром 6 мм с шагом 200 мм. Дополнительное армирование требуется лишь в зоне сопряжения панелей с фундаментной плитой.

Для восприятия повышенных усилий в зонах сопряжения волн оболочек и увеличения жесткости конструкции рекомендуется устраивать железобетонные вертикальные стойки, подземная часть которых может выполняться в виде буронабивных свай, в том числе секущихся свай или свай с уширением ствола ниже уровня грунта.

Список использованных источников

1. **Тетиор А.Н.** Экологичные подпорные и шумозащитные стены: учебное пособие. М.: МГУП, 2006. 174 с.
2. **Будин А.Я.** Тонкие подпорные стенки. Л.: Стройиздат, 1974. 192 с.
3. **Корчагин Е.А.** Оптимизация конструкций подпорных стенок. М.: Стройиздат, 1980. 114 с.
4. **Гамаюнов В.П.** Повышение надежности железобетонных конструкций аэротенков / Есин А.И., Варламова Т.В., Болуто Т.И. // Научное обозрение. 2014. № 3. С. 86-88.
5. **Ксенофонтова Т.К., Журавлева А.Г., Сюй Ч.** Эффективность использования консольных и контрфорсных подпорных стен направляющих и причальных сооружений шлюзов на основе расхода материалов // Природообустройство. 2016. № 5. С. 19-25.
6. **Варламова Т.В., Ксенофонтова Т.К., Верхоглядова А.С.** К вопросу проектирования подпорных стен с консолью в виде оболочки // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2023. № 4 (58). С. 97-104.
7. **Семенюк С.Д., Котов Ю.Н.** Железобетонные подпорные стены // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 86-101.
8. **Варламова Т.В., Воронова В.С.** Особенности поверочных расчетов подпорных стен гидротехнических сооружений // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2021. № 1 (13). С. 150-154.
9. **Ксенофонтова Т.К.** Методика расчета статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий при трещинообразовании // Природообустройство. 2008. № 4. С. 88-95.
10. **Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Пашченко Ф.А.** Результаты исследований усиления подпорных стен композитными материалами // Гидротехническое строительство. 2021. № 4. С. 35-42.
11. **Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Пашченко Ф.А.** Результаты экспериментальных исследований железобетонных подпорных стен // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16, № 2. С. 152-160.
12. **Пашченко Ф.А., Лисичкин С.Е., Рубин О.Д.** Экспериментальное обоснование усиления подпорных стен // Инженерные системы: Сборник трудов научной-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию Российского университета дружбы народов: в 2 т. Под общ. ред. М.Ю. Мальковой. 2020. С. 15-21.
13. **Sari U.C., Sholeh M.N. and Hermanto I.** The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope // The 8th Engineering International Conference 2019: Journal of Physics: Conference Series 1444. 2020. 012053. DOI: 10.1088/1742-6596/1444/1/012053.
14. **Harode J., Dabhekar K., Pawade P., Khedikar I.** Review on Assessment of the effect of lateral dynamic forces on RCC cantilever L-shaped and T-shaped retaining wall with height variations // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. November 2021. 1197 (1):012030. DOI: 10.1088/1757-899X/1197/1/012030.
15. **Kayabekir A.E., Arama Z.A., Bekdaş G. and Dalyan İ.** L-shaped reinforced concrete retaining wall design: cost and sizing optimization // Challenge Journal of Structural Mechanics. 2020. Vol. 6, № 3. P. 140.

References

1. **Tetior A.N.** Ecological retaining and noise protection walls: textbook. Moscow, MGUP Publ., 2006. 174 p.
2. **Budin A.Y.** Thin retaining walls. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1974. 192 p.
3. **Korchagin E.A.** Optimization of retaining wall structures. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 114 p.
4. **Gamayunov V.P.** Improving the reliability of reinforced concrete constructions of aeration tanks / V.P. Gamayunov A.I., Esin T.V. Varlamova, T.I. Boluto. // Scientific Review. 2014. № 3. P. 86-88.
5. **Ksenofontova T.K., Zhuravleva A.G., Syuj Ch.** Efficiency of the use of cantilever and buttress retaining walls of guides and pier structures of sluices based on material consumption // Prirodoobustrojstvo. 2016. № 5. P. 19-25.
6. **Varlamova T.V., Ksenofontova T.K., Verhoglyadova A.S.** On the issue of designing retaining walls with a console in the form of a shell // Technical regulation in transport construction. 2023. № 4(58). P. 97-104.
7. **Semenyuk S.D., Kotov Yu.N.** Reinforced concrete retaining walls // Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2018. № 4(61). P. 86-101.
8. **Varlamova T.V., Voronova V.S.** Features of verification calculations of retaining walls of hydro-technical structures // Resource-efficient technologies in the construction complex of the region. 2021. № 1 (13). P. 150-154.
9. **Ksenofontova T.K.** Methodology for calculating statically indeterminate reinforced concrete structures taking into account the redistribution of efforts in cracking // Prirodoobustrojstvo. 2008. № 4. P. 88-95.
10. **Lisichkin S.E., Rubin O.D., Pashchenko F.A.** Results of research on strengthening retaining walls with composite materials // Hydro technical building. 2021. № 4. P. 35-42.
11. **Rubin O.D., Lisichkin S.E., Pashchenko F.A.** Results of experimental studies of reinforced concrete retaining walls // Construction mechanics of engineering structures and constructions. 2020. V. 16. № 2. P. 152-160.
12. **Pashchenko F.A., Lisichkin S.E., Rubin O.D.** Experimental justification of retaining wall reinforcement / Collection: Engineering systems. Proceedings of the scientific and practical conference with international participation dedicated to the 60th Anniversary of the Peoples' Friendship University of Russia. In 2 volumes. Edited by M.Yu. Malkova. 2020. P. 15-21.
13. **U.C. Sari, M.N. Sholeh, and I. Hermanto.** The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope. The 8th Engineering International Conference 2019. Journal of Physics: Conference Series 1444 (2020). 012053. DOI: 10.1088/1742-6596/1444/1/012053
14. **J. Harode, K. Dabhekar, P. Pawade, I. Khedikar.** Review on "Assessment of the effect of lateral dynamic forces on RCC cantilever L-shaped and T-shaped retaining wall with height variations". November 2021. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1197(1):012030. DOI: 10.1088/1757-899X/1197/1/012030
15. **A.E. Kayabekir, Z.A. Arama, G. Bekdaş, and I. Dalyan.** L-shaped reinforced concrete retaining wall design: cost and sizing optimization, // Challenge Journal of Structural Mechanics, vol. 6, no. 3, p. 140, 2020.

16. Al Sebai H.M., Barakat S. and Arab M.A. Reliability-based design optimization of cantilever reinforced concrete retaining walls // in Proceedings of the International Foundations Congress and Equipment Expo. Dallas, USA, May 2021.

Об авторах

Татьяна Васильевна Варламова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные материалы, конструкции и технологии»; ORCID: 0000-0003-1928-8705; varlamova-t.v@yandex.ru

Татьяна Кирилловна Ксенофонтова, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерных конструкций; ORCID: 0000-0002-3484-6894, SCOPUS ID: 57216621271; tksenofontova@rgau-msha.ru, Ksentanya@yandex.ru

16. H.M. Al Sebai S. Barakat, and M.A. Arab. “Reliability-based design optimization of cantilever reinforced concrete retaining walls,” in Proceedings of the International Foundations Congress and Equipment Expo, Dallas, USA, May, 2021.

Author information

Tatyana V. Varlamova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department “Construction materials, structures and technologies”; ORCID: 0000-0003-1928-8705; varlamova-t.v@yandex.ru

Tatyana K. Ksenofontova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department “Engineering structures”; ORCID: 0000-0002-3484-6894, SCOPUS ID: 57216621271; tksenofontova@rgau-msha.ru, Ksentanya@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Варламова Т.В., Ксенофонтова Т.К. 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 Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

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

Статья поступила в редакцию / Submitted to the editorial office 05.11.2023

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

Varlamova T.V., Ksenofontova T.K. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-66-73>

УДК 626.01:626/627



К РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЕРЕПАДА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

М.М. Хасанов[✉], А.А. Созаев, С.О. Курбанов, Ф. Алкассир

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

Аннотация. В статье рассматривается новый тип двухступенчатого перепада авторской разработки и расчет его конструкции на упругом основании. Целью исследований явилось обоснование выбора расчетной схемы и методики статического расчета на прочность новой конструкции двухступенчатого перепада на искусственном упругом основании. Перепад предназначен для регулирования размываемых участков малых рек в условиях предгорных зон. Предлагаемая рамная конструкция сооружения на искусственном габионном основании позволяет решить вопросы устойчивости, взаимодействия сооружения с потоком и безопасной фильтрации под сооружением. Несущее основание перепада представляет собой систему перекрестных железобетонных балок на упругом основании, что позволяет использовать методику расчета ленточных монолитных фундаментов. Предложен эффективный подход к исследованию напряженно-деформированного состояния его несущих элементов. По результатам проведенных исследований определены задачи и методика расчета основных параметров перепада, обеспечивающих надежность и эффективность работы сооружения.

Ключевые слова: двухступенчатый перепад, предгорная зона, руслорегулирующее сооружение, упругое основание, надежность, напряженно-деформированное состояние, методика расчета, ленточный фундамент

Формат цитирования: Хасанов М.М., Созаев А.А., Курбанов С.О., Алкассир Ф. Расчет конструкции двухступенчатого перепада на упругом основании // Природообустройство. 2024. № 1. С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-66-73>

Original article

ON THE DESIGN OF THE STRUCTURE OF A TWO-STAGE DIFFERENTIAL ON AN ELASTIC BASE

М.М. Khasanov[✉], А.А. Sozaev, S.O. Kurbanov, A. Fayeze

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

Abstract. The article discusses a new type of a two-stage differential of the author's design and the calculation of its design on an elastic base. The drop is designed to regulate the eroded sections of small rivers in the conditions of foothill zones. The proposed frame structure of the construction on an artificial gabion base allows solving the issues of stability, interaction of the structure with the flow and safe filtration under the structure. The bearing base of the drop is a system of cross reinforced concrete beams on an elastic base which allows the use of a method for calculating tape monolithic foundations. At the same time, an effective approach to the study of the stress-strain state of its load-bearing elements is proposed. Based on the results of the conducted studies, the tasks and calculation methodology for calculating its main parameters that ensure the reliability and efficiency of the entire structure have been determined for this two-stage differential.

Keywords: two-stage drop, foothill zone, channel-regulating structure, elastic base, reliability, stress-strain state, calculation method, ribbon foundation

Format of citation: Khasanov M.M., Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Alkassir Fayeze. On the design of the structure of a two-stage differential on an elastic base // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 66-73. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-66-73>

Введение. Надежность и долговечность гидротехнических сооружений обеспечиваются расчетами несущей способности и устойчивости системы «Сооружение-основание», которые производятся по двум группам метода предельных состояний в соответствии со сводами правил [1-3].

Нагрузки и воздействия при расчете отдельных видов гидротехнических сооружений принимаются по соответствующим строительным нормам и правилам в наиболее неблагоприятных, но реальных для рассматриваемого расчетного случая сочетаниях [4, 5].

Объектом исследований является руслорегулирующее сооружение в виде двухступенчатого двухкамерного перепада [6], разработанного для условий предгорной зоны малых рек и русел, сложенных размываемыми грунтами. Данное сооружение отличается от традиционных бетонных руслорегулирующих сооружений тем, что не имеет сплошного водонепроницаемого флюта (рис. 1). Рамная конструкция сооружения на искусственном габионном основании позволяет решить вопросы взаимодействия сооружения с потоком и безопасной фильтрации под сооружением. В этих условиях важным становится вопрос исследования напряженно-деформированного состояния несущих элементов конструкции для установления параметров, обеспечивающих надежные эксплуатационные свойства данного сооружения.

Цель исследований: обоснование выбора расчетной схемы и методики статического расчета на прочность новой конструкции двухступенчатого перепада на искусственном упругом основании.

Материалы и методы исследований.

Конструктивные решения для сооружения приняты в монолитном варианте исходя из условий ее надежности и долговечности. Нижняя часть несущей конструкции, укладываемая на дно камер перепада, представлена системой перекрестных железобетонных балок (лент) на упругом основании (рис. 2), что позволяет использовать методику расчета ленточных монолитных фундаментов. Перекрестные балки, кроме изгиба, могут испытывать еще и кручение. Однако во многих случаях кручение имеет второстепенное значение или вообще не проявляется. Поэтому при решении задачи о несущей способности перекрестных балок кручение часто не учитывается, что значительно упрощает расчет. Результаты такого расчета дают запас прочности в пользу конструкции.

Для расчета принятой системы перекрестных железобетонных лент следует выделить из нее одну из продольных балок (лент) с прилегающими частями поперечных элементов. На рисунке 2 выделенная часть фундамента (вдоль осевой линии В) обозначена другим цветом.

Два из возможных вариантов расчетной схемы выделенной части исследуемой

конструкции как балки на упругом основании показаны на рисунке 3.

Вертикальная нагрузка представлена на расчетных схемах в виде сосредоточенных сил F_i , приложенных в центрах узлов пересекающихся железобетонных балок (лент) постоянного поперечного сечения. В этих местах на поперечные ленты фундамента наращиваются вертикальные водобойные стенки перепада. Расчетные величины сосредоточенных сил F_i в узлах перекрестных балок определяют с учетом массы выделенной части поперечных железобетонных лент (полос) вместе с водобойными стенками.

Исходные данные:

$b = 1,0$ м – ширина подошвы ленточных фундаментов;

$h_1 = 1,5$ м – высота водобойной стенки вместе с фундаментом (по оси 1);

$h_2 = 2,0$ м – высота водобойной стенки вместе с фундаментом (по оси 2);

$h_3 = 3,5$ м – высота водобойной стенки вместе с фундаментом (по оси 3);

$a = 9,7$ м – ширина выделенного участка в перекрестной системе балок;

$\rho = 2500$ кг/м³ – плотность железобетона;

$g = 9,81 \approx 10$ м/с² – ускорение свободного падения;

$\gamma_f = 1,1$ – коэффициент надежности по нагрузке.

Сосредоточенные силы:

$F_1 = g \cdot \rho \cdot V_1 \cdot \gamma_f = g \cdot \rho \cdot b \cdot a \cdot h_1 \cdot \gamma_f = 10 \cdot 2500 \cdot 1 \cdot 9,7 \cdot 1,5 \cdot 1,1 = 400125$ Н = 400,1 кН;

$F_2 = g \cdot \rho \cdot V_2 \cdot \gamma_f = g \cdot \rho \cdot b \cdot a \cdot h_2 \cdot \gamma_f = 10 \cdot 2500 \cdot 1 \cdot 9,7 \cdot 2 \cdot 1,1 = 533500$ Н = 533,5 кН;

$F_3 = g \cdot \rho \cdot V_3 \cdot \gamma_f = g \cdot \rho \cdot b \cdot a \cdot h_3 \cdot \gamma_f = 10 \cdot 2500 \cdot 1 \cdot 9,7 \cdot 3,5 \cdot 1,1 = 933625$ Н = 933,6 кН.

В качестве искусственного упругого основания предлагается принять балласт в виде габионного водонепроницаемого тюфяка, предусмотренного на горизонтальной ступени перепада. По этой схеме балки изгибаются от внешних нагрузок и вдавливаются в габионный тюфяк, от которого возникает реактивный упругий отпор, распределенный по подошвам балок. Поскольку закон изменения реактивного отпора не может быть определен из условия равновесия, конструкция в виде балок на упругом основании относится к статически неопределимым системам.

Опытным путем установлено, что реактивный отпор основания зависит от прогиба балки. Поэтому при расчете в качестве основной неизвестной принимают функцию прогиба v и составляют для нее соответствующее дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Из решения этого уравнения находят функцию v ,

а затем – внутренние усилия в балке с помощью известных зависимостей [7]:

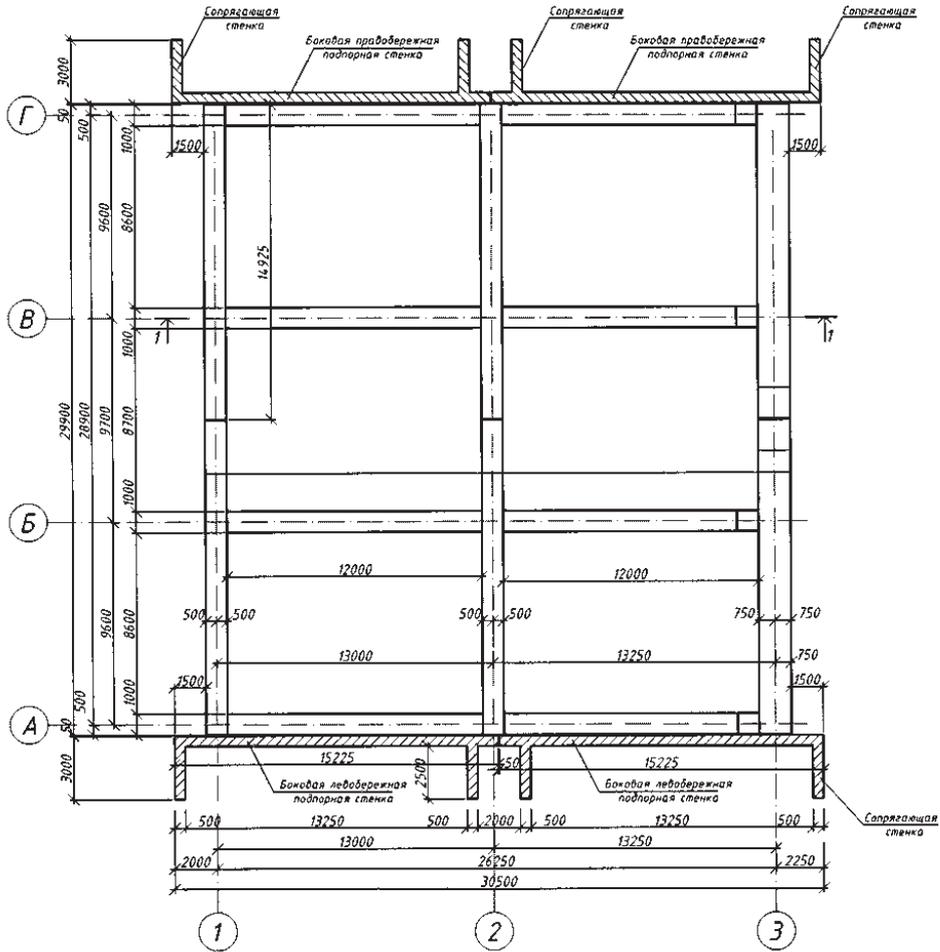
$$M = -EJv''; \quad Q = -EJv''' \quad (1)$$

Предварительно следует ввести гипотезу о зависимости между реактивным отпором основания и прогибом балки, то есть выбрать расчетную модель упругого основания.

В строительной механике для решения прикладных задач разработаны и применяются

различные расчетные модели упругого основания. Их можно подразделить на три группы:

- модели, базирующиеся на гипотезе Фуса-Винклера;
- модели упругого линейно-деформируемого полупространства (используются методы классической теории упругости);
- комбинированные модели упругого основания.



Сечение 1 - 1
М 1:100 М 1:200

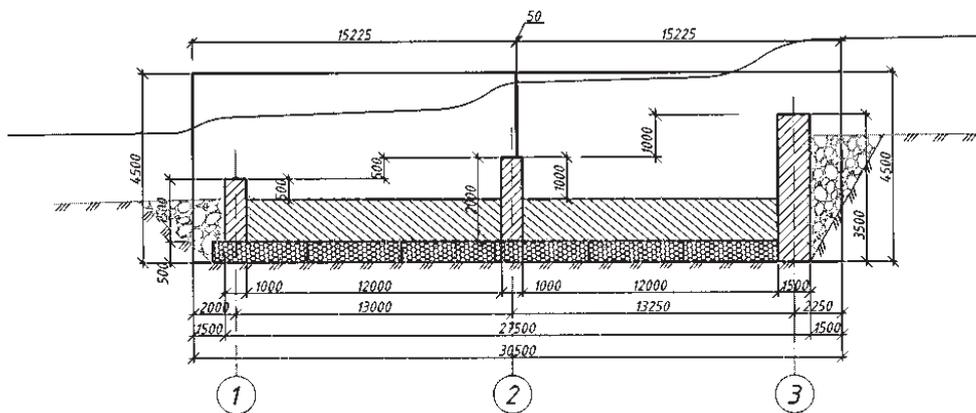


Рис. 1. Конструктивная схема двухступенчатого двухкамерного перепада, план и разрез
Fig. 1. Design scheme of a two-stage two-chamber drop, plan and section

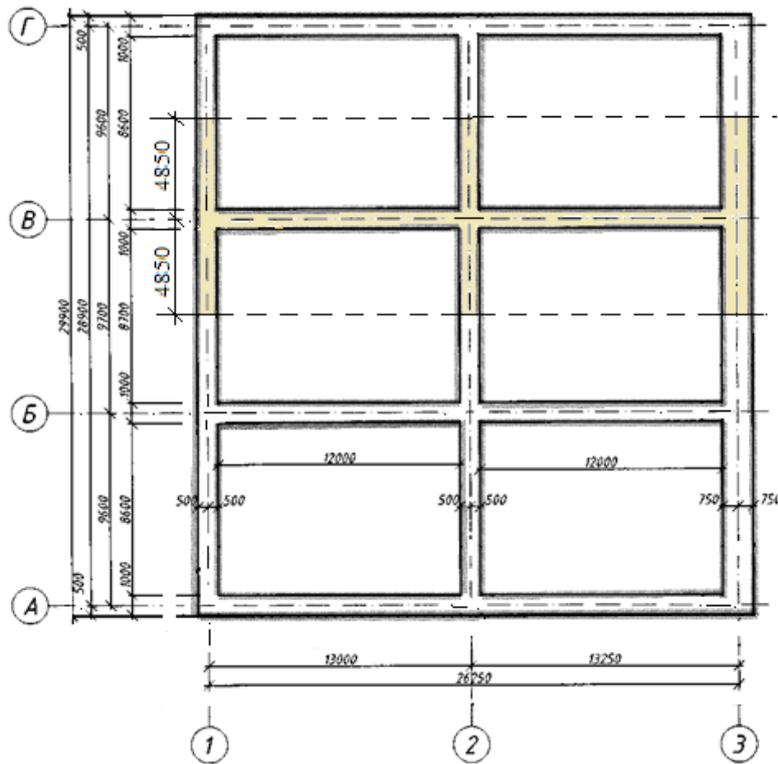


Рис. 2. План монолитного фундамента двухкамерного перепада из перекрестных лент (полос)

Fig. 2. The plan of the monolithic foundation of the two-chamber drop from the cross tapes (strips)

Выбор той или иной модели основания необходимо рассматривать отдельно под каждый расчетный случай в зависимости от принятых конструктивной и расчетной схем сооружения, грунтовых условий, условий нагружения и еще ряда факторов, влияющих на совместную работу конструкции и основания.

Одной из наиболее простых и распространенных в расчетной практике моделей грунтового основания, предназначенной для решения широкого круга задач, является модель винклеровского основания. Эта модель составлена по гипотезе Фусса-Винклера о линейной зависимости между реакцией основания и прогибом балки, равным осадке основания. Реактивное давление (отпор) основания на единицу длины балки определяется по формуле:

$$r = -kbv, \tag{2}$$

где v – функция прогибов; b – ширина подошвы балки; k – коэффициент жесткости упругого основания, называемый коэффициентом податливости основания, или коэффициентом постели ($\text{Па/м} = \text{Н/м}^3$).

Знак минуса означает, что прогиб и реакция основания направлены в разные стороны.

Коэффициент постели определяется экспериментально. Для реальных грунтовых условий значения коэффициента постели устанавливаются весьма условно, поэтому в справочных

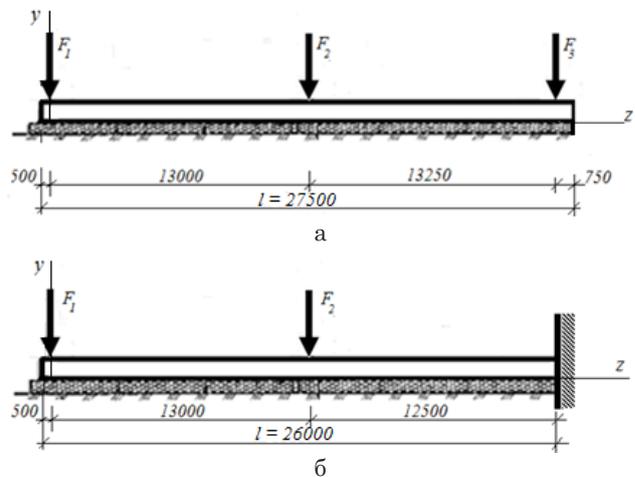


Рис. 3. Варианты расчетной схемы балки на упругом основании

Fig. 3. Options for the design scheme of a beam on an elastic foundation

таблицах для одних и тех же грунтов обычно приводят диапазон возможного изменения коэффициента постели. Например, ориентировочные значения коэффициента постели для некоторых грунтовых оснований приведены в таблице из расчетно-теоретического справочника [8].

Основным недостатком винклеровской расчетной модели является то, что в ней учитывается сопротивление грунта, расположенного непосредственно под штампом (балкой). Как

Таблица. Значения коэффициента постели k для различных грунтовTable. Values of bed coefficient k for various soils

№	Материал основания / Material of the foundation	k_1 , МПа/м k_1 , МПа/м
1	Песок свеженасыпанный / Freshly poured sand Глина мокрая, размягченная / Wet, softened clay	1-5
2	Грунты средней плотности / Medium-density soils: песок слежавшийся / packed sand; гравий насыпной / bulk gravel; глина влажная / wet clay	5-50
3	Грунты плотные / Soils are dense: песок и гравий, плотно слежавшийся / sand and gravel, densely packed; щебень / macadam; глина малой влажности / low moisture clay	50-100
4	Грунты весьма плотные / The soils are very dense: Грунт песчано-глинистый / The soil is sandy-clay, искусственно уплотненный / artificially compacted; глина твердая / clay is hard;	100-200
5	Известняк, песчаник, мерзлота / Limestone, sandstone, permafrost	200-1000
6	Твердая скала / Hard rock	10000-15000

показывают эксперименты, поверхность грунта оседает не только непосредственно под штампом (фундаментом), но и вокруг него.

При достаточно правильном подборе коэффициента постели упругого основания по модели Винклера можно получить удовлетворительное по точности приближенное решение для большинства случаев практических задач.

Результаты и их обсуждение. В расчетной практике также применяют модели, которые позволяют учитывать работу упругого основания за пределами области приложенных нагрузок. Однако расчет балок и других конструктивных элементов с использованием таких моделей является достаточно сложным.

Суммарная интенсивность распределенной нагрузки, приложенной к балке на винклеровском основании, –

$$p(z) = q(z) + r = q(z) - kbv(z), \quad (3)$$

где $q(z)$ – интенсивность внешней распределенной нагрузки; r – отпор (реакция) основания.

В таком случае изгиб балки постоянного сечения на упругом основании описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$v^{IV}(z) = p(z) / EJ, \quad (4)$$

где $EJ = \text{const}$ – жесткость балки при изгибе.

Если в уравнение (4) подставить (3) и ввести обозначение, называемое коэффициентом относительной жесткости основания,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EJ}},$$

то после преобразований можно записать:

$$v^{IV}(z) + 4\beta^4 v(z) = q(z) / EJ. \quad (5)$$

Коэффициент β зависит от жесткости балки EJ и одновременно от жесткости основания.

Общее решение уравнения (5) можно представить в следующем виде:

$$v = e^{-\beta z} (C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z) + e^{\beta z} (C_3 \cos \beta z + C_4 \sin \beta z) + v^*(z), \quad (6)$$

где C_1, C_2, C_3 и C_4 – постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий; $v^*(z)$ – частное решение, зависящее от нагрузки $q(z)$.

При действии на балку только сосредоточенных сил дифференциальное уравнение ее упругой линии становится однородным:

$$v^{IV}(z) + 4\beta^4 v(z) = 0, \quad (7)$$

а в решении (6) нужно принять $v^*(z) = 0$.

Балки на упругом основании принято подразделять на группы (категории), обусловленные по длине: жесткие, короткие и длинные (бесконечной и полубесконечной длины). Способ расчета зависит от того, к какой категории балка относится.

Для установления категории балки используют безразмерную величину βl , где l – длина балки. При $\beta l \geq 1,5\pi$ балку относят к категории длинных [9].

Расчетная схема балки на упругом основании в рассматриваемой конструкции (рис. 3, вариант а). Принятые исходные данные:

длина балки $l = 27,5$ м;

коэффициент постели основания $k = 30$ МПа/м;

модуль упругости материала балки
 $E = 3 \cdot 10^4$ МПа;

момент инерции поперечного сечения
 $J = b^4/12 = 1^4/12 = 8,33 \cdot 10^{-2}$ м⁴.

$$\text{Коэффициент } \beta = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EJ}} = \\ = \sqrt[4]{\frac{30 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 8,33 \cdot 10^{-2}}} = 0,234 \text{ м}^{-1}.$$

Величина $\beta l = 0,234 \cdot 27,5 = 6,44 > 1,5\pi$, следовательно, балку можно отнести к категории длинных. По расчетной схеме на балку действует только нагрузка в виде сосредоточенных сил, поэтому для ее расчета используют уравнение (7), а решение представляют как для полубесконечной балки по следующей формуле:

$$v = e^{-\beta z} (C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z). \quad (8)$$

Для определения произвольных постоянных интегрирования C_1 и C_2 используют граничные условия. Например, для длинной балки (рис. 3а), нагруженной сосредоточенной силой на краю (в начале координат), можно записать:

$$\text{при } z = 0 \quad M = 0; \quad Q = -F_1.$$

Затем найденное решение задачи при действии одной силы используется в случае действия системы сосредоточенных сил. На основании принципа независимости действия сил окончательный результат получают алгебраическим суммированием результатов от действия каждой силы F_i в отдельности.

Расчетная схема балки на упругом основании в рассматриваемой конструкции (рис. 3, вариант б). Принятые исходные данные:

длина балки $l = 26$ м;

коэффициент постели основания $k = 10$ МПа/м;

модуль упругости материала балки
 $E = 3 \cdot 10^4$ МПа;

момент инерции поперечного сечения
 $J = b^4/12 = 1^4/12 = 8,33 \cdot 10^{-2}$ м⁴.

$$\text{Коэффициент } \beta = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EJ}} = \\ = \sqrt[4]{\frac{10 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 8,33 \cdot 10^{-2}}} = 0,178 \text{ м}^{-1}.$$

Величина $\beta l = 0,178 \cdot 26 = 4,63 < 1,5\pi$.

Категория балки – короткая.

Расчет для коротких балок значительно сложнее в связи с тем, что необходимо учитывать условия на обоих концах балки и исходить из общего решения (6), содержащего четыре

произвольные постоянные интегрирования. Аналитическое решение удобнее записать по известному в строительной механике методу начальных параметров.

Постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 имеют в этом случае определенный смысл и связаны с начальными параметрами:

$$C_1 = v_0; \quad C_2 = \varphi_0; \quad C_3 = -\frac{M_0}{EJ}; \quad C_4 = -\frac{Q_0}{EJ}, \quad (9)$$

где v_0, φ_0, M_0, Q_0 – начальные параметры, то есть соответственно прогиб, угол поворота, изгибающий момент и поперечная сила в начальном сечении балки при $z = 0$.

Решение однородного уравнения (7) может быть представлено как

$$v = v_0 Y_1(\beta z) + \frac{\varphi_0}{\beta} Y_2(\beta z) - \\ - \frac{M_0}{\beta^2 EJ} Y_3(\beta z) - \frac{Q_0}{\beta^3 EJ} Y_4(\beta z), \quad (10)$$

где через Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 обозначены функции академика А.Н. Крылова, который ввел их при расчете корпуса корабля.

Функции Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 представляют собой линейные комбинации произведений гиперболических и тригонометрических функций:

$$Y_1(\beta z) = \text{ch}\beta z \cos \beta z;$$

$$Y_2(\beta z) = \frac{1}{2} (\text{ch}\beta z \sin \beta z + \text{sh}\beta z \cos \beta z); \quad (11)$$

$$Y_3(\beta z) = \frac{1}{2} \text{sh}\beta z \sin \beta z;$$

$$Y_4(\beta z) = \frac{1}{4} (\text{ch}\beta z \sin \beta z - \text{sh}\beta z \cos \beta z),$$

где $\text{sh}\beta z$ и $\text{ch}\beta z$ – гиперболические функции.

С целью облегчения вычислений при выполнении практических расчетов балок на упругом основании значения этих функций приводятся в таблицах. Обычно два начальных параметра всегда известны, остальные определяются из граничных условий.

Для расчетной схемы балки на рисунке 3б начальные параметры равны (из граничных условий):

при $z = 0 \quad M_0 = 0, \quad Q_0 = -F_p;$ при $z = l \quad v_l = 0, \quad \varphi_l = 0.$

Из двух граничных условий на правом конце балки (глухая заделка) составляют два алгебраических уравнения и находят начальные параметры v_0 и φ_0 . Затем записывают окончательные выражения для всех компонентов напряженно-деформированного состояния и проверяют условия прочности и жесткости.

Следует отметить, что в аналитических методах решения задач для ленточных фундаментов весьма часто используются таблицы готовых расчетных величин. Такие таблицы приведены в работах М.И. Горбунова-Посадова [10], Б.Н. Жемочкина [11], И.А. Симвулиди [12] и др.

Выводы

Вышеприведенная методика расчета конструкции двухступенчатого перепада на упругом основании позволяет определить основные параметры его конструктивных элементов для

двух случаев нагружения, обеспечивающих надежность и эффективность работы всего сооружения.

Предлагаемая методика расчета позволяет запроектировать конструкции нового типа двухступенчатого перепада для регулирования предгорных размываемых участков малых рек.

Внедрение данного сооружения обеспечивает снижение материальных затрат на строительство и эксплуатацию более чем на 30% по сравнению с традиционными затратами.

Список использованных источников

- СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85*. М.: Стандартинформ, 2019. 105 с.
- СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. М.: Стандартинформ, 2020. 39 с.
- СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. М.: Минрегион России, 2012. 72 с.
- СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: Стандартинформ, 2018. 95 с.
- Методическое пособие по проектированию мелиоративных водосбросных сооружений с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов (док. разработан в развитие СП 100.13330.2016, утв. 01.01.2019 г. ФАУ «ФЦС»). М., 2019. 57 с.
- Пат. 2633788 РФ, МПК E02V3/02. Двухступенчатый перепад комбинированной конструкции / С.О. Курбанов, А.А. Созаев, С.А. Ульбашева; заявл. 19.12.2016; опубл. 18.10.2017. Бюл. № 29.
- Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: учебник. М.: Высшая школа, 2003. 560 с.: ил.
- Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический: В 2 кн. Кн. 1 / Под ред. А.А. Уманского. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1972. 600 с.
- Саргсян А.Е., Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов / Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джинчвелашвили Г.А. М.: Высшая школа, 2000. 416 с.
- Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1973. 627 с.
- Жемочкин Б.Н., Синицын А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 240 с.
- Симвулиди И.А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании. М.: Высшая школа, 1978. 480 с.

References

- SP 23.13330.2018. The foundations of hydraulic structures. Updated version of SNiP 2.02.02-85*. Moscow: Standartinform, 2019. 105 p.
- SP 58.13330.2019. Hydraulic structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 33-01-2003. Moscow: Standartinform, 2020. 39 p.
- SP 41.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures. Updated version of SNiP 2.06.08-87. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2012. 72 p.
- SP 20.13330.2016. A set of rules. Loads and impacts. Updated. revision of SNiP 2.01.07-85*. Moscow: Standartinform, 2018. 95 p.
- Methodological guide for the design of meliorative spillway structures with a high-speed differential type of coupling of streams (doc. developed in the development of SP 100.13330.2016, approved 01.01.2019 by FAA "FTS"). M., 2019. 57p.
- Pat. 2633788 RF, IPC E02V3/02. Two-stage differential of a combined structure / S.O. Kurbanov, A.A. Sozaev, S.A. Ulbasheva; application. 12/19/2016; publ. 18.10.2017. Byul. No. 29.
- Alexandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. Resistance of materials. M.: Higher School., 2003. 560 s: ill.
- Handbook of the designer of industrial, residential and public buildings and structures. Computational and theoretical. In 2 books. Book 1. Edited by A.A. Uman'sky. 2nd edition, reprint. and additional M., Stroyizdat, 1972, 600 p.
- Sargsyan A.E. Construction mechanics. Fundamentals of theory with examples of calculations / Demchenko A.T., Dvoryanchikov N.V., Jinchvelashvili G.A. M.: Higher School, 2000. 416 p.
- Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A. Calculation of structures on an elastic base. M.: Stroyizdat, 1973. 627 p.
- Zhemochkin B.N., Sinitsyn A.P. Practical methods for calculating foundation beams and plates on an elastic base. Moscow: Gosstroyizdat, 1962. 240 p.
- Simvulidi I.A. Calculation of engineering structures on an elastic base. M.: Higher School, 1978. 480 p.

Об авторах

Мусса Магомедович Хасанов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Землеустройство и экспертиза недвижимости»; Author ID: 1029986; khasanovmussa@mail.ru

Ахмед Абдулкеримович Созаев, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Землеустройство и экспертиза недвижимости»; WoS Researcher ID: AAB-7728-2020; Scopus Author ID: 57219247588; ORCID: 0000-0002-8505-124X; SPIN-код: 8151-1898; AuthorID: 805100; sozaev07@mail.ru

Салигаджи Омарович Курбанов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и сооружения»; WoS Researcher ID: AAB-7875-2020; Scopus Author ID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; Author ID: 361638; 05bereg@rambler.ru

Алкассир Файез, аспирант; Author ID: 1192226; faez.alkasir@mail.ru

Author information

Mussa M. Khasanov, candidate of technical sciences, associate professor; Author ID: 1029986; khasanovmussa@mail.ru

Akhmed A. Sozaev, candidate of technical sciences, associate professor; WoS Researcher ID: AAB-7728-2020; Scopus Author ID: 57219247588; ORCID: 0000-0002-8505-124X; SPIN-код: 8151-1898; Author ID: 805100; sozaev07@mail.ru

Saligadzhi O. Kurbanov, candidate of technical sciences, associate professor; WoS Researcher ID: AAB-7875-2020; Scopus Author ID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; Author ID: 361638; 05bereg@rambler.ru

Alkassir Fayeze, postgraduate student; Author ID: 1192226; faez.alkasir@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Хасанов М.М., Созаев А.А., Курбанов С.О., Алкассир Файез 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 Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

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

Статья поступила в редакцию / Submitted to the editorial office 27.10.2023

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

Khasanov M.M., Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Alkassir Fayeze performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-74-81>

УДК 556.535.5: 632.123.1



НАВОДНЕНИЯ ПЕРИОДА ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Л.С. Банщикова

г. Санкт-Петербург, Государственный гидрологический институт; 99004, г. Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., 23, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучение внутригодового распределения уровней воды с учетом ледовой обстановки. Выполнена оценка повторяемости ледовых явлений на гидрологических постах с высокой повторяемостью превышения уровня отметки опасного гидрологического явления (ОГЯ) и неблагоприятного гидрологического явления (НГЯ). Рассчитаны значения величины превышения высшего уровня воды над установленными критическими уровнями воды ОГЯ или НГЯ. Выявлено, что на территории изучаемого региона превышение отметочного и ОГЯ происходит не только в период весенних половодий, заторов льда, но и при подвижках льда, осеннем и весеннем ледоходе и даже при несплошном ледоставе. Недочет уровенного и ледового режима существенно осложняет реализацию мероприятий по предотвращению и минимизации негативных последствий и ущерба от опасных ледовых гидрологических явлений.

Ключевые слова: ледовые явления, наводнение, оценка риска, повторяемость

Формат цитирования: Банщикова Л.С. Наводнения периода ледовых явлений на реках Северо-Западного федерального округа // Природообустройство. 2024. № 1. С. 74-81. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-74-81>

Original article

FLOODS OF THE ICE PHENOMENA PERIOD ON THE RIVERS OF THE NORTH-WESTERN FEDERAL DISTRICT

L.S. Banshchikova

St. Petersburg State Hydrological Institute; 199004, St. Petersburg, 2nd line of Vasilievsky Island, 23, Russia

Abstract. The purpose of the study is to study the intra-annual distribution of water levels, taking into account ice conditions. An assessment of the recurrence of ice phenomena at hydrological stations with a high frequency of exceeding the level of a dangerous hydrological phenomenon (DHP) and an unfavorable hydrological phenomenon (UHP) was carried out. The values of the value of the excess of the highest water level over the established critical water levels of the DHP or UHP have been calculated. It has been revealed that on the territory of the studied region, the excess of the marked and DHP occurs not only during spring floods, ice jams, but also ice movements, autumn and spring ice drift, and even under non-compact freezing. Underestimation of the level and ice regime significantly complicates the implementation of measures to prevent and minimize the negative consequences and damage from dangerous ice hydrological phenomena.

Keywords: ice hydrological phenomena, flooding, risk assessment, repeatability

Format of citation: Banshchikova L.S. Floods of the ice phenomena period on the rivers of the North-Western federal district // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 74-81. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-74-81>

Введение. Прогнозирование и предупреждение опасных гидрологических явлений с целью снижения рисков и минимизации ущербов на территориях, подверженных периодическому затоплению, возможны только при проведении многофакторного анализа причин их возникновения.

Современные методы снижения ущерба от опасных гидрологических явлений (включая наводнения) требуют перехода от стратегии индивидуальной защиты объектов к комплексной системе мер, предусматривающей оценку и управление всеми рисками на основе сравнительной технико-экономической оценки вариантов защитных мероприятий и планировочных решений [1].

В пределах Северо-Западного федерального округа России на значительной части территорий расположены свыше 50 городов и более тысячи малых населенных пунктов, в которых в общей сложности проживают несколько миллионов человек, объекты инфраструктуры и экономики, лесные угодья, относящиеся, в том числе, к особо охраняемым природным территориям, и сельскохозяйственные земли региона [2].

Высота подъема уровня воды на подверженных затоплению территориях, безусловно, является основной характеристикой наводнений. В то же время недоучет генетических особенностей таких подъемов существенно осложняет реализацию мероприятий по предотвращению возникновения опасных, вызванных подъемом уровня воды затоплений, особенно если подъемы происходят в период ледовых явлений.

Материалы и методы исследований. На территории Северо-Западного федерального округа устойчивые ледовые явления наблюдаются до полугода. При этом ледовые явления, при которых формируются подъемы уровней воды до отметок, превышающих отметки неблагоприятного гидрологического явления (НГЯ) и отметки опасного гидрологического явления (ОГЯ), – это не только зажоры и заторы льда, но и подвижки, осенний и весенний ледоходы и даже несплошной ледостав.

На основе выборки [3] по 13 гидрологическим постам выполнен генетический анализ внутригодового распределения уровней воды с учетом ледовой обстановки.

Вероятность возникновения различных фаз ледовых явлений за многолетний период по выбранным постам различается. Так, если формирование ледостава (сплошного и несплошного), равно как и весеннее половодье, наблюдается ежегодно ($P = 100\%$), то повторяемость

осеннего и весеннего ледохода изменяется от 0 до 32% и от 20 до 97% соответственно (табл. 1).

Механизм формирования и количественные характеристики различных фаз ледовых явлений, а также характер уровня режима определяются многими факторами и их различным сочетанием. Эти факторы можно подразделить на 3 группы: гидрометеорологические, геоморфологические, «человеческие» [4].

Гидрометеорологические факторы включают в себя интенсивность развития той или иной фазы, последовательность замерзания (вскрытия) участков реки, характер нарастания и распределения толщины льда, интенсивность усиления (ослабления) прочности льда, суровость климата и характер изменения внутрисезонных температур воздуха, направление течения рек.

Геоморфологические факторы включают в себя особенности строения русла в высотном и плановом отношении, характер поймы, долины, а также наличие русловых препятствий: перекатов, мелей, островов, узостей, близость к устью.

Факторы деятельности человека – это различные гидротехнические сооружения, стесняющие (сужающие) русло реки, а также неверные действия людей при проведении работ, влияющих на режим стока и интенсивность ледохода.

Для всех рассмотренных [3, 5-7] 152 постов очевидно, что вклад в формирование ледовых явлений метеорологических факторов в среднем одинаков.

Результаты и их обсуждение. Анализ температуры воздуха за многолетний период показал, что при неустойчивых погодных условиях с чередованием заморозков и оттепелей в осенний период на реках рассматриваемого региона формирование ледового покрова происходит медленно: путем не смерзания заберегов, а с шугоходом и осенним ледоходом различной интенсивности, который может привести к зажорам льда. Нарастание толщины льда также зависит от температуры воздуха. Чем холоднее зима в начале ледостава, тем более интенсивно происходит нарастание льда и тем больше его толщина.

В весенний период, при таянии льда, сочетание повышения дневных температур, которые вызывают разрушение льда и начало ледохода, и понижения температур в ночные часы до отрицательных значений может привести не только к сохранению, даже к увеличению прочности льда, но и к последующему формированию ледоходов на высоких уровнях и формированию заторов льда.

Таблица 1. Повторяемость видов ледовых явлений на гидрологических постах с высокой повторяемостью превышения уровня отметки НГЯ и ОГЯ

Table 1. The recurrence of types of ice phenomena at hydrological posts with a high recurrence of exceeding the level of UHP (unfavorable hydrological phenomena) and DHP (dangerous hydrological phenomena)

Код поста Post code	Река – пост River – post	Средняя продолжительность ледовых явлений, сутки Average duration of ice phenomena, day	Вид ледовых явлений Type of ice phenomena						Весеннее половодье Spring flood
			осенний ледоход Autumn ice drift	зажор congestion	Ледостав (ЛЗ) Freezing (LZ)	Подвижка advancement	весенний ледоход ice drift spring ice drift	затор jam	
72043	р. Тосна – ст. Тосно	148	-	34	100	90	88	8,0	100
72157	р. Паша – с. Пашский Перевоз	181	8,0	5,0	100	53	82	22	100
72188	р. Тихвинка – д. Горелуха	143	7,0	84	100	49	75	52	100
7703	р. Волхов – г. Новгород	141	32	16	100	-	88	1,0	100
72207	р. Волхов – пос. Красно-фарфорный	150	4,0	-	100	4,0	71	0,0	100
72327	р. Уверь – д. Меглецы	166	4,0	81	100	6,0	20	17	100
72423	р. Пола – д. Налючи	150	28	78	100	83	97	38	100
72463	р. Ловать – с. Взвяд	151	2,0	1,0	100	41	68	21	100
72493	р. Полисть – г. Старая Русса	169	12	14	100	12	86	7,0	100
72569	р. Луга – ст. Толмачёво	133	12	77	100	22	72	16	100
72665	р. Великая – г. Псков	152	9,0	6,0	100	65	84	32	100
74413	р. Преголя – г. Черняховск	138	3,0	10	100	18	47	4,0	100
75126	р. Молога – с. Покров Молога	145	22	37	100	68	69	21	100

На рисунках 2 и 3 представлен осредненный график изменения сроков наступления фаз ледового режима по территории СЗФО за многолетний период: осенние ледовые явления и ледостав (рис. 1), весенние ледовые явления (рис. 2). Так, тенденция сроков появления осеннего ледохода и шугохода изменилась в сторону более позднего наступления.

Так, тенденция сроков появления осеннего ледохода и шугохода изменилась в сторону более позднего наступления в среднем по региону на 30 дней – начало декабря, зажоров на 10 дней – середина декабря, ледостав устанавливается в конце второй – начале 3 декад декабря.

При зажоре скопление шуги в русле реки сопровождается забивкой некоторой части ее живого сечения и связанным с этим повышением уровня воды выше данного скопления.

Сформировавшиеся в осенний период зазоры льда могут наблюдаться вплоть до начала разрушения ледового покрова, что в свою очередь приводит к формированию мощных заторов льда.

Следует отметить, что сместились не только сроки – увеличилась и продолжительность предледоставного периода, то есть формирование таких форм, как снежура, шуга, сало, внутриводный лед, влияющих на структуру льда в условиях ледостава. В последние годы повсеместно наблюдается формирование ледостава с торосами.

Для весенних ледовых явлений тенденция сроков их появления имеет «обратный ход», изменившись в сторону более раннего наступления. Подвижки – первые индикаторы начала устойчивого разрушения ледостава в среднем по региону – появляются на 10 дней раньше, в конце марта, и их продолжительность не превышает нескольких дней, а затем, в первых числах апреля, формируется ледоход.

Для рек рассматриваемого региона при сценарии вскрытия, когда оно распространяется от верхнего течения к нижнему, заторы в период вскрытия формируются регулярно, но не всегда приводят к значительному ущербу. Задерживая лед и предоставляя тем самым возможность рассредоточиться ледовым массам ниже по течению, они в какой-то мере нормализуют ледоход.

При большом количестве ледового материала в бассейне после суровой зимы заторы образуются в верховьях рек и при благоприятных погодных условиях задерживают процесс вскрытия, пока реки не освободятся ото льда на достаточном протяжении. При малом количестве льда остановка ледяных полей происходит значительно ниже по течению. Распределение мест образования заторов по длине реки зависит также от водности в период вскрытия. Мощная волна половодья проталкивает лед на большее расстояние, и заторы образуются по течению ниже, чем в годы с низкой водностью [4].

Понятие риска ледовых явлений определяется вероятностью не столько возникновения того или иного ледового явления, сколько возникновения такого ледового явления, при котором возможны негативные последствия и нанесение ущерба.

Анализ по годам уровней воды каждого из выбранных постов за многолетний период [8-13] позволил оценить вероятность возникновения ледовых явлений с точки зрения вероятности превышения значений высших уровней воды отметок НГЯ и ОГЯ (табл. 2).

Определяющей характеристикой при оценке риска от наводнений является величина превышения высшего уровня воды над установленными критическими уровнями воды ОГЯ или НГЯ – ($h_{\text{ЛЯ}}$). Численно данная характеристика определяется как разница между указанными выше величинам по формуле:

$$h_{\text{ЛЯ}} = H_{\text{ЛЯ}} - H_{\text{ОГЯ(НГЯ)}}, \quad (1)$$

где $H_{\text{ЛЯ}}$ – наивысший наблюдаемый уровень воды, м, при различных видах ледовых явлений; $H_{\text{ОГЯ(НГЯ)}}$ – отметка установленного критического уровня воды ОГЯ или НГЯ.

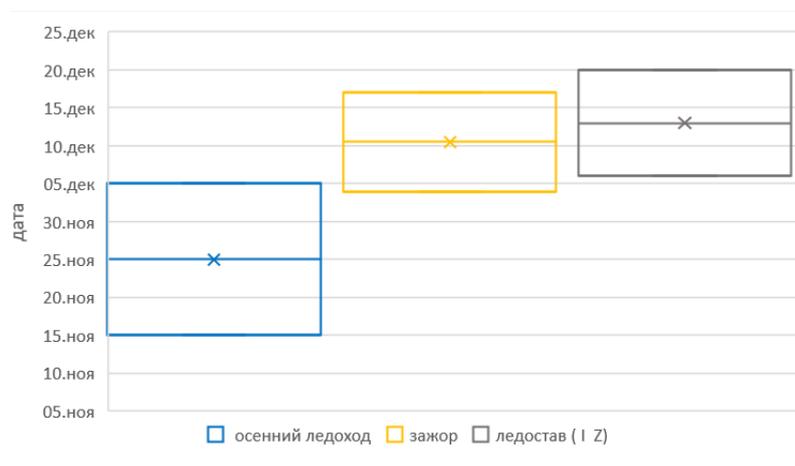


Рис. 1. Осредненный график изменения сроков наступления фаз осенних ледовых явлений и ледостава

Fig. 1. The averaged graph of changes in the timing of the onset of phases of autumn ice phenomena and freezing

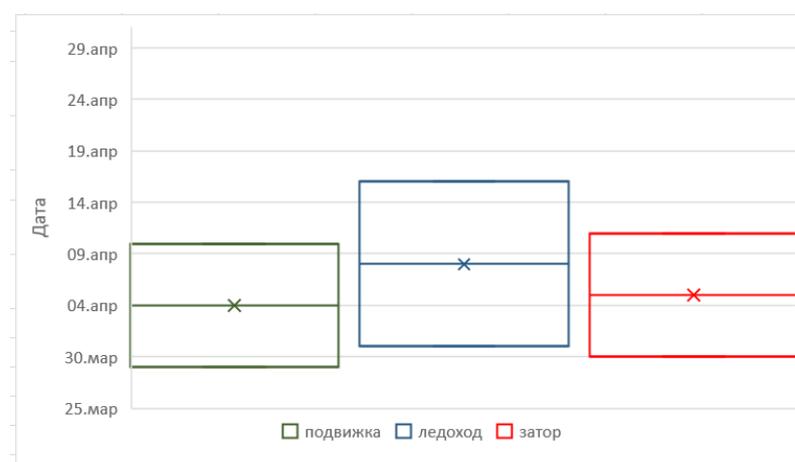


Рис. 2. Осредненный график изменения сроков наступления фаз весенних ледовых явлений и ледостава

Fig. 2. The averaged graph of changes in the timing of the onset of phases of spring ice phenomena

Данная выше характеристика отражает гидрологическую составляющую риска. В общем случае риск наводнения оценивается по зависимости ущерба от обеспеченности отметок уровней воды, что эквивалентно вероятности превышения самого ущерба.

При условии, что осенью водосборный бассейн реки насыщается обильными осадками, влажность почвы может приближаться к уровню максимальной влагоемкости; в отдельные годы осенние ледовые явления формируются на высоких уровнях воды, и превышение отметок ОГЯ и НГЯ может наблюдаться при осеннем ледоходе, шугоходе и при формировании ледостава.

Наибольшая повторяемость превышения отметок ОГЯ и НГЯ на всех постах, за исключением р. Уверь – д. Меглицы и р. Ловать – с. Взвяд, чаще всего наблюдается при подвижке льда, свидетельствующей о начале разрушения ледового покрова, и при весеннем ледоходе. Эта зависимость не меняется в течение многолетнего периода. На рисунках 3, 4 в качестве примера приведены графики высших наблюденных уровней

воды по характерным фазам ледового режима и высшие уровни воды за каждый месяц (красной линией выделена отметка ОГЯ, оранжевой – НГЯ для р. Ловать – с. Взвяд и р. Тихвинка – д. Горелуха).

В таблице 2 представлены значения величины превышения высшего уровня воды над установленными критическими уровнями воды ОГЯ или НГЯ, рассчитанные по формуле (1).

Для постов р. Луга – ст. Толмачёво, р. Ловать – с. Взвяд, р. Волхов – г. Новгород, р. Волхов – пос. Краснофарфорный за весь период наблюдений высшие уровни воды не превышали отметки ОГЯ и НГЯ и наблюдались только в период весеннего половодья.

Геоморфологические факторы влияют на локальные условия формирования ледовых явлений, наличие препятствий для свободного транспорта льда приводит к повышению уровня воды. Так, на р. Паша у с. Папский Перевоз задержке транспорта льда при ледоходе способствуют сильно разветвленное русло и пойма шириной 1-5 км, изрезанная протоками и староречьями.

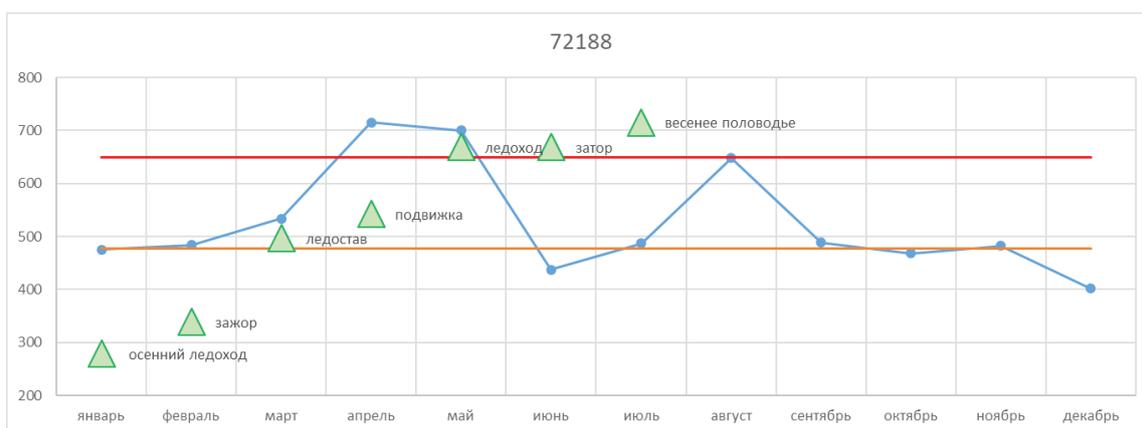


Рис. 3. Высшие уровни воды за многолетний период, р. Тихвинка – д. Горелуха
Fig. 3. The highest water levels over a long-term period, Tikhvinka river – Gorelukha village

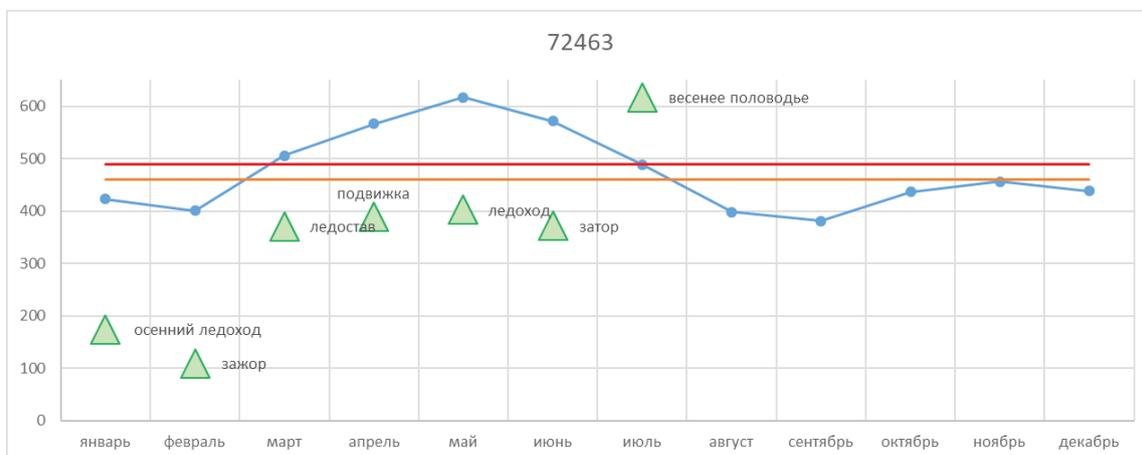


Рис. 4. Высшие уровни воды за многолетний период р. Ловать – с. Взвяд
Fig. 4. The highest water levels for a long period of the river Lovat – Vzvad village

Таблица 2. Повторяемость превышения отметок ОГЯ и НГЯ и значения величины превышения высшего уровня воды

Table 2. The repeatability of exceeding the unfavorable and dangerous levels and the values of the excess of the highest water level

Фаза водного (ледового) режима <i>Phase of water (ice) regime</i>	Расчетная характеристика <i>Design characteristics</i>	Код поста <i>Post code</i>								
		72043	72157	72188	77203	72423	72493	72665	74413	75126
Осенний ледоход <i>Autumn ice drift</i>	$\frac{P_{\text{НГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{НГЯ}}, \text{м}}$	-	$\frac{1,0\%}{0,38}$	-	-	$\frac{2,0\%}{0,34}$	-	-	-	-
	$\frac{P_{\text{ОГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{ОГЯ}}, \text{м}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Зажор льда <i>Ice congestion</i>	$\frac{P_{\text{НГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{НГЯ}}, \text{м}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\frac{P_{\text{ОГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{ОГЯ}}, \text{м}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подвижка <i>Movement</i>	$\frac{P_{\text{НГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{НГЯ}}, \text{м}}$	-	$\frac{8,0\%}{0,62}$	$\frac{5,0\%}{0,64}$	-	$\frac{2,0\%}{0,19}$	-	-	-	-
	$\frac{P_{\text{ОГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{ОГЯ}}, \text{м}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Весенний ледоход <i>Spring ice drift</i>	$\frac{P_{\text{НГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{НГЯ}}, \text{м}}$	$\frac{9,0\%}{0,68}$	$\frac{49\%}{1,84}$	$\frac{25\%}{1,91}$	$\frac{14\%}{1,36}$	$\frac{31\%}{1,70}$	$\frac{19\%}{0,68}$	$\frac{17\%}{1,80}$	$\frac{6,0\%}{0,32}$	$\frac{9,0\%}{0,50}$
	$\frac{P_{\text{ОГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{ОГЯ}}, \text{м}}$	-	$\frac{14\%}{0,76}$	$\frac{5,0\%}{0,19}$	$\frac{6,0\%}{0,78}$	$\frac{17\%}{1,20}$	$\frac{170\%}{0,38}$	$\frac{12\%}{1,37}$	-	$\frac{7,0\%}{0,37}$
Затор льда <i>Ice jam</i>	$\frac{P_{\text{НГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{НГЯ}}, \text{м}}$	-	$\frac{16\%}{1,53}$	$\frac{15\%}{1,91}$	-	$\frac{11\%}{1,7}$	$\frac{1,0\%}{0,14}$	$\frac{12\%}{1,80}$	-	$\frac{2,0\%}{0,50}$
	$\frac{P_{\text{ОГЯ}}, \%}{\Delta h_{\text{ОГЯ}}, \text{м}}$	-	$\frac{4,0\%}{0,45}$	$\frac{2,0\%}{0,19}$	-	$\frac{6,0\%}{1,20}$	-	$\frac{9,0\%}{1,37}$	-	$\frac{2,0\%}{0,37}$

Примечание. Дефис (-) – в таблице «-» ледовое явление не наблюдается / **Note:** in the table «-» ice phenomena is not observed

Для р. Тихвинки – д. Горелуха, несмотря на то, что русло умеренно извилистое, наличие вблизи поста порогов Каргашин и Стоян (в 3 км ниже по течению), а также излуины с разворотом 90° влияет на повышенное шугообразование. Наличие островов и перекатов на р. Пола – д. Налочи является определяющим фактором затруднения прохождения волны ледохода и при формировании заторов льда.

На ледовый режим р. Ловать у села Взвяд огромное влияние оказывают не только извилистое, разветвленное русло, но и условия ледового режима озера Ильмень, равно как и на режим реки Волхов у г. Новгорода.

На участке р. Великая – г. Псков сочетание сильно извилистого русла, сужение и крутой поворот влияют на ледовый режим. Образованию заторов способствует более позднее вскрытие Чудско-Псковского озера. При нагонных ветрах со стороны озера наблюдается обратное течение до г. Пскова.

В то же время для ряда участков геоморфологические признаки, влияющие на режим, являются вторичными. Преобладающим здесь является влияние локальных антропогенных факторов – таких, как наличие в русле опор разрушенного моста на р. Полисть – г. Старая Русса. Режим работы Волховской ГЭС определяет особенности ледового режима р. Волхов вблизи поселка Краснофарфорный.

Выводы

Таким образом, классификация опасных ледовых явлений на территории СЗРФ в рамках одной фазы ледового режима для конкретного участка является достаточно условной, поскольку развитие ледовой обстановки – это динамический процесс, происходящий не только на поверхности, но и по всей глубине потока. На формирование общей картины влияют и ледовая обстановка, и водный режим, и антропогенная нагрузка не только в створе, но и выше и ниже

по течению. Так, густой ледоход может привести к образованию затора льда, после разрушения которого формируются ледовые навалы – главным образом вдоль береговой линии. При густом шугоходе и снежуре ледовый материал вовлекается под кромку установившегося ледового покрова, ввиду чего уменьшается пропускная способность русла и могут сформироваться заторы льда. Количественными гидрологическими показателями степени подготовки реки к той или иной ледовой фазе могут быть интенсивность и продолжительность роста или спада уровня воды.

На основе указанного выше можно сделать вывод о том, что изменения, в том числе уровня характеристик ледового режима, являются результатом сложного взаимодействия метеорологических и гидрологических условий. Кроме того, в зависимости от степени освоенности затопляемых территорий изменяется и степень опасности ледовых явлений для населения и хозяйства. Ущерб от затопления освоенных территорий в период с ледовыми явлениями более значителен по сравнению с периодом открытого русла и связан с глубиной и частотой затопления поймы, толщиной льда, наличием скоплений льда и шуги. Сложность прогнозирования элементов

Работа выполнена в рамках темы НИР Росгидромета «Развитие и модернизация технологий мониторинга водных объектов суши по гидрологическим показателям, включая технологии их метрологического обеспечения и технологии выпуска аналитических обобщений по поверхностным водам суши», регистрационный номер АААА-А20-120112690064-2

Список использованных источников

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902173350>.
2. Разумов В.В., Разумова Н.В., Пчелкин В.И. Масштабы и опасность наводнений в Северо-Западном регионе России // Геориск. 2018. Т. XII, № 1. С. 12-33.
3. Георгиевский В.Ю., Оценка характеристик наводнений на реках Северо-Западного федерального округа за период 1950-2019 гг. / Грек Е.А., Грек Е.Н., Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г. // Метеорология и гидрология. 2023. № 3. С. 57-65.
4. Козлов Д.В. и др. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России: монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 347 с.
5. Банщикова Л.С. Заторы и зажоры льда на реке Тосна у г. Тосно // Труды Международной научно-практической конференции памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова «Вторые Виноградовские чтения. Искусство гидрологии», 2018 г. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2018. С. 219-221.

ледового режима и многофакторность их развития значительно увеличивают потенциальный риск от этих явлений.

Для рассматриваемых водных объектов наиболее опасные ледовые явления, при которых наблюдается превышение отметок НГЯ и ОГЯ, – это образование внутриводного льда и шуги, зажоры, малая толщина и прочность льда в период ледостава, густой ледоход при высоких уровнях воды, заторы, навалы льда, позднее вскрытие реки. При этом негативное влияние этих явлений, безусловно, связано не только с затоплением освоенной территории, но и с механическим воздействием льда на различные объекты народного хозяйства, транспортной инфраструктуры, социально значимых объектов.

Оценка потенциальной опасности ледовых явлений основывается на мониторинге всего цикла ледовых явлений, многофакторном анализе участков рек, на которых возникают максимальные затруднения при транспорте льда не только в створе постов, но и выше и ниже по течению, изучении повторяемости формирования опасных уровней воды в период ледовых явлений, особенно редкой повторяемости.

The work was carried out within the framework of the research project of Roshydromet. “Development and modernization of technologies for monitoring terrestrial water bodies by hydrological indicators, including technologies for their metrological support and technologies for issuing analytical generalizations on terrestrials Surface waters.”, registration number АААА-А20-120112690064-2

References

1. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020. Approved Decree of the Government of the Russian Federation No. 1235-r dated August 27, 2009 <https://docs.cntd.ru/document/902173350>
2. Razumov V.V., Razumova N.V., Pchelkin V.I. Scales and danger of floods in the North-West region of Russia // Georisk, Vol. XII, No. 1, 2018, P. 12-33.
3. Georgievsky V.Yu., Estimation of flood characteristics on the rivers of the North-Western federal district for the period 1950-2019. / Grek E.A., Grek E.N., Lobanova A.G., Molchanova T.G. // Meteorology and hydrology, 2023, No. 3. P. 57-65
4. Kozlov D.V. et al. Dangerous ice phenomena on rivers and reservoirs of Russia: Monograph. Moscow, RSAU-MAA Publ., 2015. 347 p. ISBN978-5-9675-1204-9
5. Banshchikova L.S. Ice jams and ice congestion the Tosna River near Tosno // Proceedings of the International scientific and practical conference in memory of the outstanding Russian scientist Yu.B. Vinogradov “Second Vinogradov readings. The Art of hydrology” 2018

6. Банщикова Л.С. и др. Ледовый режим рек Пестовского района Новгородской области // Природообустройство. 2016. № 3. С. 20-25.

7. Банщикова Л.С., Банщиков А.А. Оценка риска и мониторинг зимних наводнений на примере участка рек Мста и Березайка // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии. 2016. С. 108-110.

8. Гидрологический ежегодник. Т. 1. Бассейн Балтийского моря. Вып. 0-3. Бассейн Балтийского моря от р. Нева до р. Неман (1936-1943 год). Л.: Гидрометеоздат.

9. Гидрологический ежегодник. Т. 1. Вып. 0-6. Бассейн Балтийского моря от р. Нева до р. Висла (1942, 1944 год). Л.: Гидрометеоздат.

10. Гидрологический ежегодник. Т. 1. Бассейн Балтийского моря. Вып. 0-3. Бассейны Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Саланца (1945-1977 год). Л.: Гидрометеоздат.

11. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Реки и каналы. Т. 1. Бассейн рек Балтийского моря. Вып. 0-3. Бассейны Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Саланца. (1978-1980).

12. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Т. 1. Вып. 5. Бассейн рек Балтийского, Ладожского и Онежского морей (1981-2020).

13. Каталог заторных и загорных участков рек СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 548 с.

Об авторе

Любовь Святославовна Банщикова, кандидат географ. наук, старший научный сотрудник, BanshchikovaLS@yandex.ru

Критерии авторства /Authorship criteria

Банщикова Л.С. 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 17.04.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.08.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 28.08.2023

St. Petersburg: St. Petersburg State University Publishing House. 2018, P. 219-221.

6. Banshchikova L.S. et al. Ice regime of the rivers of the Pestovsky district of the Novgorod region. // Prirodobustrojstvo. 2016. № 3. P. 20-25.

7. Banshchikova L.S., Banshchikov A.A. Risk assessment and monitoring of winter floods on the example of the Msta and Berezayka rivers section. // Actual problems of life safety and ecology. 2016. P. 108-110.

8. Hydrological yearbook. V. 1. – Baltic Sea basin. Vol. Issue 0-3. The Baltic Sea basin from the Neva River to the Neiman River. (1936-1943). Leningrad: Gidrometeoizdat.

9. Hydrological Yearbook. V. 1. Vyp. 0-6. The Baltic Sea basin from the Nevado River to the Vistula River. (1942, 1944). Leningrad: Gidrometeoizdat.

10. Hydrological yearbook Vol. 1. – Baltic Sea Basin. Issue 0-3. The basins of the Gulf of Finland and the Gulf of Riga from the state border with Finland to the northern watershed of the Salants River. (1945-1977). Leningrad: Gidrometeoizdat.

11. State water cadastre. Annual data on the regime and resources of terrestrial surface waters. Rivers and canals. V. 1. Baltic Sea River Basin. Issue 0-3. The basins of the Gulf of Finland and the Gulf of Riga from the state border with Finland to the northern watershed of the Salants River. (1978-1980).

12. State water cadastre. Annual data on the regime and resources of terrestrial surface waters. – Part 1. Rivers and canals. V. 1 Issue. 5. River basin of the Baltic, Ladoga and Onega Seas. (1981-2020).

13. Catalogue of congestion and jamming sections of the rivers of the USSR. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976. 548 p.

Author information

Lyubov S. Banshchikova, Candidate of Geographic Sciences, Senior Researcher; BanshchikovaLS@yandex.ru

Banshchikovs L.S. carried out theoretical research, on the basis of which she generalized and wrote a manuscript, have a copyright to the article and she is responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90>

УДК 551.583:627.5(282.255)



ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ПРИРОДНЫХ ЗОН НА ВОДОСБОРАХ БАСЕЙНА РЕКИ АССА-ТАЛАС

Ж.С. Мустафаев¹, К.Б. Абдешев², Н.А. Турсынбаев¹

¹АО «Институт географии и водной безопасности»; г. Алматы, Медеуский р-н, ул. Пушкина, 99, Казахстан

²НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Саифуллина», Астана, Казахстан

Аннотация. Цель исследований заключалась в том, чтобы на основе статистической оценки изменения климатических показателей природной системы речных бассейнов в условиях изменяющегося климата определить возможные изменения границ природно-географических зон. Объект исследований – водосбор бассейна реки Асса-Талас. На основе многолетних климатических данных создана база исследований по 8 метеорологическим станциям, расположенным в различных природно-географических зонах водосбора бассейна реки Асса-Талас, получена линейно-корреляционная модель климатических показателей. Они позволяют определить темп прироста сумм температур воздуха, радиационного баланса, испаряемости с открытой водной поверхности или с избыточно увлажненной почвы в биологически активный период года, годовых атмосферных осадков, коэффициента естественного увлажнения и гидротермический индекс сухости, выполняющих важные средообразующие и экологические функции. Результаты исследований показали, что в целом во всех природно-географических зонах водосбора бассейна реки Асса-Талас сумма температур воздуха, радиационный баланс, испаряемость и гидротермический индекс сухости имеют положительный темп прироста, а годовые атмосферные осадки и коэффициент естественного увлажнения – отрицательные, способствующие формированию положительного темпа прироста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий и сдвига границ природных зон, что является сигналом безопасности сельскохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: климатические данные, линейно-корреляционная модель, оценка, темп прироста, дефицит водопотребления, сдвиг границ, природно-географическая зона

Формат цитирования: Мустафаев Ж.С., Абдешев К.Б., Турсынбаев Н.А. Влияние изменения климата на формирование границ природных зон на водосборах бассейна реки Асса-Талас // Природообустройство. 2024. № 1. С. 82-90. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90>

Original article

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE FORMATION OF THE BOUNDARIES OF NATURAL ZONES IN THE WATERSHEDS OF THE ASSA-TALAS RIVER BASIN

Zh.S. Mustafayev¹, K.B. Abdeshev², N.A. Tursynbayev²

¹JSC «Institute of Geography and Water Security»; Almaty, st. Pushkina, 99, Kazakhstan

²NJSC «Kazakh Agrotechnical University named after S. Saifullin», Astana, Kazakhstan

Abstract. Based long-term climate data, a research database has been created for eight meteorological stations located in various natural-geographical zones of the Assa-Talas river basin; a linear-correlation model of climate indicators has been obtained, allowing to determine the rate of increase in the sums of air temperatures, radiation balance, evaporation from the open water surface or from excessively moistened soil during the biologically active period of the year, annual precipitation, natural moisture coefficient and hydrothermal dryness index, which perform important environment-forming and ecological functions. The results of the study showed that in general, in all natural-geographical zones of the Assa-Talas river basin, the sum of air temperatures, radiation balance, evaporation and hydrothermal dryness index have a positive growth rate, and annual precipitation and the coefficient of natural moisture are negative, contributing to the formation of a positive rate an increase in the deficit of water consumption of agricultural land and a shift in the boundaries of natural zones, which is a signal of the safety of agricultural activities.

Keywords: climate data, linear correlation model, assessment, growth rate, water consumption deficit, boundary shift, natural geographic zone

Format of citation: Mustafayev Zh.S., Abdeshev K.B., Tursynbaev N.A. The Influence of Climate change on the formation of the boundaries of natural zones in the watersheds areas of the Assa-Talas River basin // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 82-90. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90>

Введение. Закономерная смена природных условий является функциональной деятельностью климата, формирующегося вследствие неравномерного распределения тепла и влаги по широтам или по высотам, где проявляется неравномерность увлажнения поверхности Земли, в целом формирующегося симметрично экватору или высоте, соответствующих определенным значениям интегрального критерия, характеризующих границы природно-географических зон, обусловленных законом географической и вертикальной зональности.

В условиях глобального изменения климата существует гипотеза, основанная на системе знаний о природно-географических зонах и научном предположении, связанная с повышением среднегодовой температуры воздуха и снижением годовых атмосферных осадков. Уровень естественного увлажнения поверхности Земли снижается, что приводит к пространственно-временным смещениям границ зон, отражающих их средообразующую и экологическую функции [1-4].

Аспекты современной климатической парадигмы, оказывающие негативное воздействие на выполнение важных средообразующих и экологических функций природной системы, основываются на гипотезе пространственно-временного изменения границы природно-географических зон благодаря прямой связи показателя естественного увлажнения поверхности Земли и признания существования некоего однонаправленного тренда климатических показателей, требующих проверки их статической достоверности, что определяет их актуальность в условиях глобального изменения климата.

Цель исследований: на основе статистической оценки изменения климатических показателей природной системы речных бассейнов в условиях изменяющегося климата определить возможные изменения границ природно-географических зон.

Объект исследований – водосбор бассейна реки Асса-Талас, представленный горной, предгорной, предгорной равнинной и пустынной зонами, обусловленными законом вертикальной зональности, являющимися следствием фундаментального закона физической географии – закона географической зональности, который можно рассматривать как модель природных объектов

для изучения влияния климатических изменений на формирование границ природных зон.

Река Талас образуется от слияния рек Каракол и Уч-Кошой, которые берут начало в ледниках Таласского Ала-Тоо, расположенных на высоте 3586 м над уровнем моря в Таласской области Кыргызской Республики, и исчезает в пустыне Мойынкум в Жамбылской области Республики Казахстан. Длина реки составляет 661,0 км, площадь речного бассейна – 52700 км², в том числе горной части – 9240 км² [5].

Река Асса образуется слиянием рек Терс, которая берет начало на юго-восточном склоне хребта Каратау Жамбылской области Республики Казахстан, и Куркуреу-Суу, формирующейся в ледниках пика Манас (4482 м над уровнем моря) и северном перевале Байдам-Тал и Чынгыз Таласского Ала-Тоо в Таласской области Кыргызской Республики, где ее общая длина составляет 253 км, площадь бассейна – 9210 км².

Материалы и методы исследований. Для оценки изменений климатических показателей природных систем водосборных территорий бассейна реки Асса-Талас, произошедших в результате глобального изменения климата, которые могут создать предпосылки изменений границ природно-географических зон, создана база исследования с использованием многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» [6] и «Кыргызгидромет» [7], Всемирной метеорологической организации (ВМО) [8] и справочно-информационного портала «Погода и климат» [9] по водосбору бассейна реки Асса-Талас и стационарных метеорологических станций Сусамыр, Талас, Кызыл-Арык, Нурлыкент, Тараз, Саудагент, Ойыки Уланбель (рис. 1).

Климатический мониторинг является основным методом исследования, предполагающим применение комплекса климатических индикаторов трех типов, позволяющих на базе системного подхода определить современное положение природных зон и прогнозировать их изменение:

- для создания базы информационно-аналитических материалов использованы среднемесячные температуры (t_i , °C) и относительная влажность (α_i) воздуха, годовые атмосферные осадки (O_{ci});

- для создания базы исследования использованы базисные интегральные индикаторы – такие, как сумма температур воздуха выше 10°C ($\sum t_{ci} \cdot C^\circ = \sum_{i=1}^n t_m \cdot N_i$; N_i – количество дней в месяце; n – количество месяцев), радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы по Ю.Н. Никольскому и В.В. Шабанову ($R_i = 4,1868 \cdot [13,39 + 0,0079 \cdot \sum t_{ci} > 10^\circ\text{C}]$, кДж/см²); суммарная испаряемость в биологически активный период года Н.Н. Иванова ($E_{oci} = \sum_{i=1}^n E_{oi}$, где $E_{oi} = (t_i + 25)^2 (100 - \alpha_i)$ – месячная испаряемость, мм;

- для результативных индикаторов, характеризующих состояние природной среды и влияющих на трансформацию границ природных зон, использованы коэффициент естественного увлажнения Н.Н. Иванова ($K_{yi} = O_{ci} / E_{oci}$) и гидротермический «индекс сухости» М.И. Будыко ($\bar{R}_i = R_i / L \cdot O_{ci}$, где – скрытая теплота парообразования, численно равная 2,5 кДж/см²).

Вертикальная зональность на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас выявляется практически для всех климатических показателей, характеризующих энергетические ресурсы и естественную влагообеспеченность ландшафтов сельскохозяйственного использования (табл. 1).

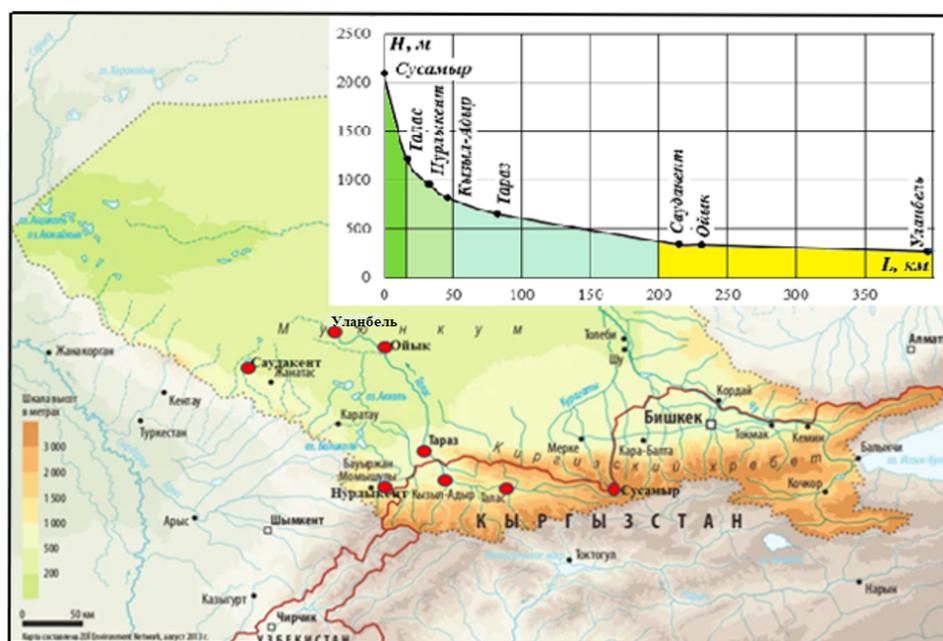


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станции в бассейне реки Асса-Талас с выделением природных зон, обусловленных законом вертикальной зональности

Figure 1. Layout of meteorological stations in the Assa-Talasriver basin, highlighting natural zones determined by the law of vertical zoning

Таблица 1. Природно-климатические зоны районирования водосбора бассейна реки Асса-Талас на основе геоморфологической схематизации

Table 1. Natural and climatic zones of zoning of the Assa-Talas river basin based on geomorphological schematization

Природно-климатические зоны / Natural and climatic zones		Метеорологическая станция Meteorological station	Абсолютная высота местности (м) Absolute terrain height (m)
класс ландшафтов landscape class	катенарная фация catenary facies		
Горный / Mountain	Элювиальная / Eluvial	Сусамыр / Susamyр	2092,0
Предгорный Foothill	Трансэлювиальная Transeluvial	Талас / Talas	1218,0
Предгорная равнина Foothill plain	Трансаккумулятивная Transaccumulative	Нурлыкент / Nurlykent	954,0
		Кызыл-Адыр / Kyzyl-Adyr	824,0
		Тараз / Taraz	655,0
Южная пустыня Southern desert	Супераквальная Superaqualnaya	Саудакемент / Saudakent	338,0
		Ойык / Oyyk	336,0
		Уланбель / Ulanbel	266,0

Для уточнения картины изменения климатических показателей использованы уравнения линейного тренда:

$$Y = \alpha \cdot X + b; Y = -\alpha \cdot X + b; Y = \alpha \cdot X - b,$$

где Y – исследуемая переменная или зависимая переменная; X – число, определяющее позицию (второй, третий и т.д.) года в периоде прогнозирования, или независимая переменная; α – точка пересечения с осью Y на графике (минимальный уровень) при $X = 0$, является тангенсом угла наклона прямых или коэффициентом регрессии; b – свободный член линейных уравнений, на который увеличивается или уменьшается следующее значение временного ряда.

Математический знак перед свободными членами b является показателем, отражающим независимо от знака начальный уровень развития явления (климатических показателей) во времени, а реальная тенденция изменения климатических показателей отражается при $\alpha > 0$ или $\alpha < 0$, являющихся уровнем, на котором в зависимости от математического знака повышаются или понижаются исследуемые климатические показатели в следующий период времени.

Результаты и их обсуждение. Климатические показатели, выполняющие важную средообразующую и экологическую функции, являются индикаторами природных систем, которые могут создать предпосылки для возможных изменений границ природно-географических зон в условиях изменяющегося климата. Для выявления возможных изменений границ климатических характеристик ареалов водосборных территорий бассейна реки Асса-Талас,

произошедших в результате глобального изменения климата, с использованием стационарных метеорологических данных станций Сусамыр, Талас, Нурлыкент, Кызыл-Адыр, Тараз, Саудагент, Ойык и Уланбель, охватывающих период 1941-2020 гг., рассмотрены тенденции сумм температур воздуха выше 10°C ($\sum t_{ci}^\circ\text{C}$), радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы (R_i , кДж/см²), суммарная испаряемость в биологически активный период года (E_{oci} , мм), коэффициент естественного увлажнения (K_{yi}) и гидро-термический «индекс сухости» (\bar{R}_i). Все расчеты для определения климатических показателей выполнены на основе базы многолетних данных, включающих в себя среднемесячные температуры ($t_i, ^\circ\text{C}$) и относительную влажность (α_i) воздуха, годовые атмосферные осадки (O_{ci}) с использованием электронной таблицы Excel 2000 и построение графиков линейного тренда в программе Microsoft Excel, что позволило получить систему линейных уравнений для определения и прогнозирования тенденций этого изменения (табл. 2).

Линейно-корреляционная модель климатических показателей (табл. 2) возникла из логического предположения о возможности получения некоторых математических выражений для оценки темпа роста и прироста, которые рассчитываются как разность или отношения двух сравнительных периодов временного статистического ряда:

Таблица 2. Регрессионные климатические модели водосбора бассейна реки Асса-Талас
Table 2. Regression climate models for the Assa-Talas River basin watershed

Реперная метеостанция <i>Reference weather station</i>	Уравнение <i>Equation</i>	Индекс детерминация (R^2) <i>Determination index (R^2)</i>	Темп прироста климатических показателей <i>Growth rate of climatic indicators</i>
1	2	3	4
Сумма температур воздуха выше 10°C ($\sum t_{ci}^\circ\text{C}$) / Sum of air temperatures above 10°C ($\sum t_{ci}^\circ\text{C}$)			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 1,2382 \cdot X + 1330,1$	0,0978	1,2227
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 4,2817 \cdot X + 2797,6$	0,3819	4,2282
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 3,1052 \cdot X + 2852,7$	0,2423	3,0664
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 3,1521 \cdot X + 2999,5$	0,2564	3,1127
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 6,0853 \cdot X + 3327,6$	0,5262	6,0092
Саудагент / <i>Saudakent</i>	$Y = 3,7754 \cdot X + 3657,5$	0,2912	3,7282
Ойык / <i>Ouyk</i>	$Y = 6,1055 \cdot X + 3578,7$	0,4390	6,0292
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 5,2284 \cdot X + 3569,9$	0,4463	5,1630
Годовые атмосферные осадки (O_{ci}, мм) / Annual precipitation (O_{ci}, mm)			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,3714 \cdot X + 417,02$	0,0976	0,3668
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 0,2550 \cdot X + 306,07$	0,0061	0,2518

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 1,1236 \cdot X + 405,24$	0,0658	1,1096
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,4437 \cdot X + 260,90$	0,0519	0,4382
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 0,7711 \cdot X + 300,63$	0,0444	0,7615
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = -0,3838 \cdot X + 205,56$	0,0188	-0,3790
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = -0,9792 \cdot X + 253,12$	0,1002	-0,9670
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = -0,2192 \cdot X + 162,81$	0,0143	-0,2165
Радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы (R_p, кДж / см²) <i>Radiation balance of the active surface of the air and soil surface layer (R_p, kJ / cm²)</i>			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,0410 \cdot X + 102,04$	0,0981	0,0405
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 0,3416 \cdot X + 148,59$	0,3817	0,3373
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 0,1029 \cdot X + 150,41$	0,2429	0,1012
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,1045 \cdot X + 155,26$	0,2573	0,1032
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 0,2013 \cdot X + 166,33$	0,5256	0,1988
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 0,1249 \cdot X + 177,04$	0,2910	0,1233
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = 0,2019 \cdot X + 174,44$	0,4388	0,1994
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 0,1728 \cdot X + 174,13$	0,4459	0,1706
Суммарная испаряемость в биологически активный период года (E_{oc}, мм) <i>Total evaporation during the biologically active period of the year (E_{oc}, mm)</i>			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,3714 \cdot X + 417,02$	0,0918	0,3671
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 1,2845 \cdot X + 839,29$	0,3819	1,2680
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 0,9315 \cdot X + 855,20$	0,2422	0,9199
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,9455 \cdot X + 899,86$	0,2564	0,9337
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 1,8258 \cdot X + 998,33$	0,5262	1,8030
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 1,1326 \cdot X + 1097,20$	0,2811	1,1184
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = 1,8621 \cdot X + 1091,50$	0,4390	1,8388
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 1,5948 \cdot X + 1088,6$	0,4463	1,5749
Коэффициент естественного увлажнения (K_{yt}) / Natural moisture coefficient (K_{yt})			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = -0,0026 \cdot X + 0,9363$	0,0781	-0,0026
Талас / <i>Talas</i>	$Y = -0,0002 \cdot X + 0,3659$	0,0031	-0,0002
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 0,0007 \cdot X + 0,4762$	0,0201	0,0007
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,0002 \cdot X + 0,2905$	0,0008	0,0002
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 0,0002 \cdot X + 0,3025$	0,0031	0,0002
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 0,0005 \cdot X + 0,1881$	0,0807	0,0005
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = -0,0011 \cdot X + 0,2311$	0,3444	-0,0011
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = -0,0005 \cdot X + 0,1543$	0,0807	-0,0005
Гидротермический «индекс сухости» (\bar{R}_t) / Hydrothermal «dryness index» (\bar{R}_t)			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,0039 \cdot X + 1,0899$	0,0692	0,0039
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 0,0005 \cdot X + 2,0709$	0,0003	0,0094
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = -0,0031 \cdot X + 1,5731$	0,0422	-0,0031
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = -0,0017 \cdot X + 2,4019$	0,0177	-0,0017
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = -0,0039 \cdot X + 2,4103$	0,0195	-0,0039
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 0,0161 \cdot X + 3,6732$	0,0515	0,0159
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = 0,0348 \cdot X + 2,4210$	0,2339	0,3437
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 0,0204 \cdot X + 4,2298$	0,1000	0,0201

- абсолютный прирост характеризует увеличение или уменьшение климатических показателей за определенный промежуток времени ($\Delta \bar{Y}$), то есть показывает количественное значение любого климатического показателя (Y_i) в конце рассматриваемого периода (X_i) к его начальному значению (Y_o) в начале рассматриваемого периода (X_o), где $X_o = 1 = const$:

$$\begin{aligned}\Delta \bar{Y} &= Y_i - Y_o = [(\alpha \cdot X_i + b) - (\alpha \cdot X_o + b)] = \\ &= (\alpha \cdot X_i + b - \alpha \cdot X_o - b) = (\alpha \cdot X_i - \alpha \cdot X_o) = \\ &= \alpha \cdot (X_i - X_o) = \alpha \cdot (X_i - 1);\end{aligned}$$

- темп прироста показывает относительную величину абсолютного прироста климатических показателей (\bar{Y}) за промежуток рассматриваемого периода:

$$\bar{Y} = [\alpha \cdot (X_i - 1)] / X_i;$$

- коэффициент роста представляет собой отношение количественного значения любого климатического показателя (Y_i) в конце рассматриваемого периода (X_i) к его начальному значению (Y_o) в начале рассматриваемого периода (X_o):

$$\begin{aligned}K_p &= Y_i / Y_o = (\alpha \cdot X_i + b) / (\alpha \cdot X_o + b) = \\ &= (\alpha \cdot X_i + b) / (\alpha + b).\end{aligned}$$

На основе анализа структурного образования темпа прироста климатических показателей можно с большой достоверностью определить тенденцию изменения свойств компонентов природной среды в рамках закона вертикальной зональности водосбора речного бассейна.

Климатический показатель испаряемости растительного и почвенного покрова ($\bar{Y}E_o$), являющийся функцией сумм температуры воздуха ($\bar{Y}T$) и радиационного баланса ($\bar{Y}R$) дневной поверхности в биологически активный период года, как образующих энергетические ресурсы природной системы, имеет положительную тенденцию прироста и их компенсирующие атмосферные осадки ($\bar{Y}O_c$), выполняющие важные средообразующие и экологические функции. В зависимости от территориального образования природно-географической зоны влияние природных и антропогенных факторов имеет положительный и отрицательный темпы прироста, что способствует формированию коэффициента естественного увлажнения с отрицательными темпами прироста ($\bar{Y}K_y$) и положительными темпами прироста для гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$).

Динамика климатических показателей водосбора бассейна реки Асса-Талас показала, что несмотря на значительную вариабельность

в пространственных масштабах, для всех природно-географических зон характерны общее закономерности, а именно их темп прироста имеет положительную тенденцию:

- в зоне горной степи, по данными метеорологической станции Сусамыр, отношение темп прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_o$) равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_o = 0,3677 / 0,3668 = 1,0024$, то есть в определенной степени сохраняется природная устойчивость;

- в зоне предгорной степи отношение темпа прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_c$), по данным метеорологической станции Талас, равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,268 / 0,2518 = 5,0357$; по данным станции Нурлыкент, $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 0,9190 / 1,1096 = 0,8282$; по данным станции Кызыл-Адыр, $-\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 0,9337 / 0,4382 = 2,1307$, то есть темп прироста годовых атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$) не может перекрывать темп прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$), в результате нарушается природное равновесие, обусловленное изменением климата, что приводит к образованию признаков засушливости;

- в зоне предгорной полупустыни, по данным метеорологической станции Тараз, отношение темпа прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_o$) равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_o = 1,8030 / 0,7615 = 2,3677$, то есть в условиях изменения климата темп роста годовых атмосферных осадков не может обеспечить природное равновесие, и в результате наблюдаются умеренные природные процессы, направленные на усиление засушливости;

- в зоне южной пустыни отношение темпа прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_c$), по данным метеорологической станции Саудагент, равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,1184 / (-0,3790) = -2,9509$; по данным станции Ойык, $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,6386 / (-0,9670) = -1,6945$; по данным станции Уланбель, $-\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,5749 / (-0,2165) = -7,2744$, то есть в результате отрицательного темп прироста годовых атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$) не может перекрывать положительный темп прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$), который приводит к нарушению природного равновесия и способствует интенсивному усилению засушливости.

По результатам проведенных исследований можно констатировать, что в целом отрицательный темп прироста коэффициента естественного увлажнения ($\bar{Y}K_y$) и положительный темп гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$), если не учитывать незначительный их темп прироста по метеорологическим станциям Нурлыкент, Кызыл-Адыр и Тараз соответственно от 0,0002

до 0,007 и от 0,0017 до 0,0039, находится в пределах статистической незначимости. Это обусловлено влиянием Кировского и Терс-Ащибулакского водохранилища, расположенных в бассейне рек Талас и Асса. Они обеспечивают локальный микроклимат, несмотря на повышение относительной влажности воздуха дневной поверхности, способствуют усилению засушливости в условиях изменяющегося климата на водосборных территориях бассейна реки Асса-Талас, которые могут создать предпосылки возможных изменений границ природно-географических зон.

В качестве климатических индикаторов, характеризующих границы природно-географических зон, традиционно используются коэффициент естественного увлажнения ($K_{yi} = O_{ci} / E_{oi}$) или гидротермический индекс сухости ($\bar{R} = R_i / L \cdot O_{ci} = E_{oi} / O_{ci}$), которые являются показателями соотношения тепла и влаги, где имеется определенная обратная зависимость: $\bar{R} = 1 / K_{yi}$.

Коэффициент естественного увлажнения (K_{yi}) в целом уменьшается от горных зон в сторону южных пустынь, а гидротермический индекс сухости (\bar{R}), наоборот, повышается, что может привести к смещению границ природно-географических зон. Это подтверждает выводы, полученные на основании положительных темпов прироста сумм температур воздуха, радиационного баланса и испаряемости с открытой

водной поверхности или с избыточно увлажненной почвы в биологически активный период года и отрицательного темпа прироста годовых атмосферных осадков.

Для оценки уровня воздействия изменений климата на устойчивость природно-географических зон в территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас в качестве климатических индикаторов использованы среднее значение коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) и гидротермический индекс сухости (\bar{R}) за период 1941-1960 и 2001-2020 гг. (рис. 2, 3).

В целом сравнительный анализ изменения коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) и гидротермического индекса сухости (\bar{R}) по 8 метеорологическим станциям, расположенным на различных природно-географических зонах, на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас за период 1941-1960 и 2001-2020 гг. показал (рис. 2, 3), что несмотря на некоторые различия, происходит сдвиг границ зоны пустыня южная на юг в сторону зоны предгорная полупустыня и на севере в сторону полупустыня от 25,0 до 75,0 км, что приведет к аридизации.

Результаты всесторонней оценки изменения климатических показателей показали, что за рассматриваемый период 1941-2020 гг. во всех природно-географических зонах на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас наблюдаются положительная тенденция сумм температур

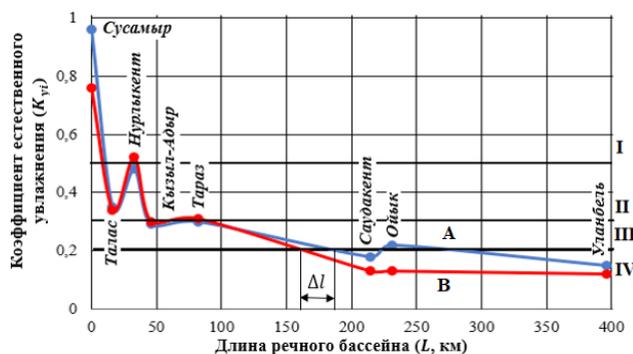


Рис. 2. Изменения коэффициента естественного увлажнения в разрезе природно-географических зон на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1941-1960 (А) и 2001-2020 (В) гг.:

I – горные степи и леса; II – предгорная степь; III – предгорная полупустыня; IV – пустыня южная; Δl – длина смещения природно-географических зон

Fig. 2. Changes in the coefficient of natural moisture in the context of natural-geographic zones in the watershed areas of the Assa-Talas River basin for 1941-1960 (A) and 2001-2020 (B): (I – mountain steppes and forests; II – foothill steppe; III – foothill semi-desert; IV – southern desert; Δl – displacement length of natural geographic zones)

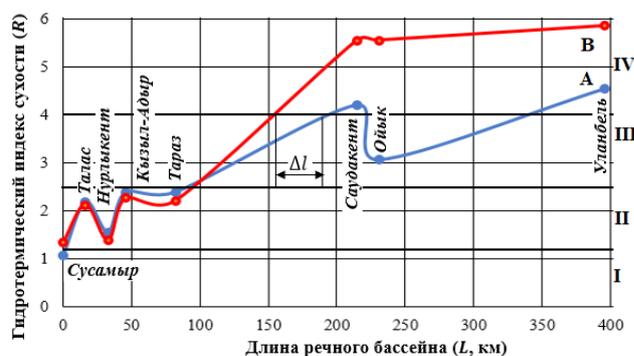


Рис. 3. Изменения гидротермического индекса сухости в разрезе природно-географических зон на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1941-1960 (А) и 2001-2020 (В) гг.:

I – горные степи и леса; II – предгорная степь; III – предгорная полупустыня; IV – пустыня южная; Δl – длина смещения природно-географических зон

Fig. 3. Changes in the hydrothermal dryness index in the context of natural geographic zones in the catchment areas of the Assa-Talas River basin for 1941-1960 (A) and 2001-2020 (B): (I – mountain steppes and forests; II – foothill steppe; III – foothill semi-desert; IV – southern desert; Δl – displacement length of natural geographic zones)

воздуха, радиационного баланса растительного и почвенного покрова и испаряемости водной поверхности и отрицательный тренд годовых атмосферных осадков, в совокупности выполняющих важные средообразующие функции, что может привести к различным экологическим последствиям:

- в зоне горных и предгорных степей, несмотря на положительный темп прироста испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$) и атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), последний не может компенсировать темп прироста испаряемости, который больше в 2-4 раза, что способствует умеренному темпу роста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\bar{Y}E_v = \bar{Y}E_o - \bar{Y}O_c$);

- в зоне предгорной полупустыни и пустыни южной наблюдаются положительный темп прироста испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$) и отрицательный темп прироста атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), что способствует интенсивному темпу прироста водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\bar{Y}E_v = \bar{Y}E_o - (-\bar{Y}O_c)$);

- во всех природно-географических зонах отрицательный темп прироста коэффициента естественного увлажнения ($\bar{Y}K_{yi}$) и положительный темп прироста гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$) обусловлены положительным темпом роста сумм температур воздуха ($\bar{Y}T$), радиационного баланса растительного и почвенного покрова ($\bar{Y}R$) и испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$), и в целом – отрицательным темпом прироста годовых атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), выполняющих важные средообразующие и экологические функции в водосборах речных бассейнов;

- отрицательный темп прироста коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) и положительный темп прироста гидротермического индекса сухости (\bar{R}) во всех природно-географических зонах, являющийся климатическими индикаторам, характеризующим границы природных зон, показал возможность сдвига границы (Δl) зоны пустыня южная на юг, в сторону зоны предгорная полупустыня, и на севере в сторону полупустыня – от 25,0 до 75,0 км, являясь тенденцией климатической составляющей процесса аридизации;

- положительный темп прироста испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$) и отрицательный темп прироста атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), выполняющих главную природную функцию речного бассейна – стокообразующую, – в определенной степени определяют характер темпа прироста объема годовых стоков ($\pm \bar{Y}W = \bar{Y}O_c - \bar{Y}E_o$);

- на основе закономерности энерго- и массообмена в природных ландшафтах можно

предположить, что их продуктивность является функцией климатических показателей [10]:

$$Y = 10 \cdot K_t \cdot K_{\text{ФАР}} \left[\exp \left(\pi \cdot \frac{k_o}{k_y} \right) \right]$$

$$\text{или } Y = 10 \cdot K_t \cdot K_{\text{ФАР}} \left[\exp (\pi \cdot k_o \cdot \bar{R}) \right],$$

где K_t – коэффициент теплообеспеченности, взвешенный коэффициентом $K_{\text{ФАР}}$; $K_t = T_o / 10946^\circ$; k_y – коэффициент увлажнения по Иванову; $k_o = O_c / E \cdot T_o$, здесь O_c – сумма осадков вегетационного периода, мм; T_o – сумма среднесуточных положительных температур (выше 0°); $E = 0,177$, $k_o = 1,0507$; 10 – перевод показателей тонн в центнеры; 10946° – максимальная климатическая сумма температур на земле, то есть при отрицательном темпе роста коэффициента естественного увлажнения ($\bar{Y}K_{yi}$) и положительном темпе прироста гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$) пропорционально уменьшается продуктивность сельскохозяйственных угодий во всех природно-географических зонах водосборных территорий речного бассейна.

В целом изменение климатических характеристик территории водосбора бассейна реки Асса-Талас вызывает положительный темп роста испаряемости водной поверхности, являющейся функцией суммы температур воздуха и радиационного баланса дневной поверхности, и отрицательного темпа прироста годовых атмосферных осадков, способствующих положительному темпу прироста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий, что можно рассматривать как сигнал для обеспечения безопасности сельскохозяйственной деятельности и создания банка климатических изменений с целью цифровизации агропроизводства.

Выводы

Результаты комплексного исследования базируются на системном анализе и климатическом обобщении проявления глобального изменения климата в природно-географических зонах на водосборных территориях бассейна реки Асса-Талас и его воздействия на темп прироста климатических показателей, выполняющих важные средообразующие и экологические функции.

На основе созданных баз исследований по многолетним информационно-аналитическим материалам за период 1941-2020 гг. по 8 стандартным метеорологическим станциям, расположенным в различных природно-географических зонах водосборных территории бассейна реки Асса-Талас, получена климатическая модель, позволяющая определить темп роста сумм температур воздуха, радиационного баланса растительного и почвенного покрова, испаряемости водной поверхности, годовых атмосферных осадков, коэффициента естественного увлажнения и гидротермический индекс сухости.

Прогнозные расчеты с использованием климатической модели показали, что во всех природно-географических зонах на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас сумма температур воздуха, радиационный баланс растительного и почвенного покрова, испаряемость водной поверхности и гидротермический индекс сухости имеют положительный темп

прироста, а годовые атмосферные осадки – отрицательный темп прироста. Это создает благоприятные условия для положительного темпа прироста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий и сдвига границы зоны пустыня южная на юг в сторону зоны предгорная полупустыня и на север – в сторону зоны полупустыня.

Список использованных источников

1. **Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А.** Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Под ред. Ю.А. Исакова. М.: Наука, 1986. 297 с.
2. **Сергиенко В.Г.** Динамика границ лесорастительных зон России в условиях изменения климата // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2015. № 1. С. 5-19.
3. **Титкова Т.Б., Виноградова В.В.** Изменение климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 5. С. 310-323. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-310>.
4. **Мустафаев Ж.С.** Влияние изменения климата водобеспеченности сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения Казахстана // Природообустройство. 2022. № 5. С. 105-113. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-105-113.
5. **Мустафаев Ж.С., Турсынбаев Н.А., Кирейчева Л.В.** Обоснование экологических услуг речных бассейнов на примере реки Талас: Монография. Кишинев: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. 137 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13 «Многолетние данные». Ч. 1-6. Вып. 18. КазССР. Кн. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 656 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13 «Многолетние данные». Ч. 1-6. Вып. 32. Киргизская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 589 с.
8. Всемирная метеорологическая организация (WMO). <https://public.Wmo.int/ru>.
9. Справочно-информационный портал «Погода и климат». <https://www.pogodaklimat.ru>.
10. **Понько В.А.** Оценка и прогнозирование агроклиматических ресурсов. Новосибирск, 2012. 100 с.

Об авторах

- Жумахан Сулейменович Мустафаев**, д-р техн. наук, профессор, z-mustafa@rambler.ru
Куаныш Бакытжанович Абдешев, PhD, abdeshev.kuanysh@mail.ru
Нуржан Аманжолович Турсынбаев, PhD, nurANT_78@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of Authorship

Мустафаев Ж.С., Абдешев К.Б., Турсынбаев Н.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have contributed equally to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 25.04.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.11.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.11.2023

References

1. **Bazilevich N.I., Grebenshchikov O.S., Tishkov A.A.** Geographical patterns of structure and functioning of ecosystems / ed. Isakov Yu.A. M.: Nauka, 1986. 297 p.
2. **Sergienko V.G.** Dynamics of the boundaries of forest growth zones in Russia under climate change // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2015. № 1. P. 5-19.
3. **Titkova T.B., Vinogradova V.V.** Climate changes in transitional natural zones of the north of Russia and their manifestation in the spectral characteristics of landscapes // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2019. V. 16. No. 5. P. 310-323. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-310>
4. **Mustafaev Zh.S.** Impact of climate change on water supply of agricultural land in zones of insufficient moisture in Kazakhstan // Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 5. P. 105-113.
5. **Mustafaev Zh.S., Tursynbaev N.A., Kireycheva L.V.** Justification of environmental services of river basins using the example of the Talas River. Monograph. – Kishinev: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. 137 p.
6. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data. P. 1-6, iss. 18: Kazakh SSR. Book. 2. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 656 p.
7. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data. P. 1-6, iss. 32: Kirgiz SSR. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 589 p.
8. World Meteorological Organization (WMO), <https://public.Wmo.int/ru>
9. Reference-information portal «Weather and climate» // www.pogodaklimat.ru
10. **Ponko V.A.** Assessment and forecasting of agroclimatic resources. Novosibirsk: 2012. 100 p.

Author information

- Zhumakhan S. Mustafayev**, Doctor of Engineering, Sciences, Professor, z-mustafa@rambler.ru
Kuanysh B. Abdeshev, PhD, abdeshev.kuanysh@mail.ru
Nurzhan A. Tursynbayev, PhD, nurANT_78@mail.ru

Mustafayev Zh.S., Abdeshev K.B., Tursynbaev N.A. performed theoretical research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Статья оригинальная

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-91-98>

УДК 627.5 (569.1)



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ БАРАДА

И.В. Глазунова^{1✉}, Кабтул Хала², С.Н. Редников¹, С.А. Соколова¹

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 Сирия, Дамаск, Маззех, ул. Алмансур Дамасский университет, Факультет естественных наук

Аннотация. Цель исследований заключалась в изучении современных проблем водопользования для бассейна реки Барада (Сирия) на основе анализа гидрологических характеристик естественных водных ресурсов и составлении прогнозов использования водных ресурсов на перспективу. Для решения поставленной цели использовались методы построения теоретической кривой обеспеченности на основе средних многолетних данных стока реки Барада в Сирии, а также прогнозный метод на основе ретроспективных данных и балансовый метод по оценке водохозяйственной ситуации и лимитирующего периода по водности реки в течение года. Оценка условий использования воды и периодов водности выполнена для лет 90%-ной обеспеченности по стоку реки для сельского хозяйства на базе орошения и для лет 75%-ной обеспеченности по стоку реки для остальных отраслевых водопользователей. Выполнена оценка водных ресурсов и проведен анализ особенностей использования вод реки Барада с учетом местных условий. В водохозяйственных балансах учтены диффузные стоки с территорий. Выполнены оценки загрязненности речного стока по классу качества воды. Даны рекомендации по восстановлению качества воды в реке для разных лет по водности. В составе рекомендаций учтено использование сорбентмелиорантов для очистки диффузного и дренажного стока с эффективностью до 90%.

Ключевые слова: речной бассейн, гидрологические характеристики, сток реки, водные ресурсы, водопользование, водохозяйственные балансы, прогнозы, загрязнение воды, водохозяйственные мероприятия, диффузный сток, сорбенты

Формат цитирования: Глазунова И.В., Кабтул Хала, Редников С.Н., Соколова С.А. Использование водных ресурсов в бассейне реки Барада // Природообустройство. 2024. № 1. С. 91-98. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-91-98>

Original article

USE OF WATER RESOURCES IN THE BARADA BASIN

I.V. Glazunova^{1✉}, Kabtoul Hala², S.N. Rednikov¹, S.A. Sokolova¹

¹ Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, ul. Timiryazevskaya, 49, korp. 28.

² Siria, Damascus, Mazeh, Almansur St. Damascus University Faculty of Natural Sciences

Abstract. The purpose of the research is to study the current problems of water use for the Barada River basin (Syria) based on the analysis of the hydrological characteristics of natural water resources and making forecasts of the use of water resources for the future. To achieve this goal, methods are used to construct a theoretical supply curve based on average long-term data on the flow of the Barada River in Syria, as well as a predictive method based on retrospective data and a balance method for assessing the water management situation and the limiting period for the water content of the river during the year. The assessment of water use conditions and water availability periods was carried out for years of 90% availability of river flow for agriculture based on irrigation and for years of 75% availability of river flow for other industrial water users. The assessment of water resources and the analysis of the peculiarities of the use of the waters of the Barada River, taking into account local conditions, were carried out. Diffuse flows from territories are taken into account in water management balances. The pollution of river runoff by water quality class was also assessed. Recommendations are given for restoring the water quality in the river for different years in terms of water content. The recommendations take into account the use of sorbent meliorants for cleaning diffuse and drainage runoff with an efficiency of up to 90%.

Keywords: river basin, hydrological characteristics, river flow, water resources, water use, water management balances, forecasts, water pollution, water management measures, diffuse effluent, sorbents

Format of citation: Glazunova I.V., Kabtul Khala., Rednikov S.N., Sokolova S.A. Use of water resources in the Barada river basin // Prirodooobstroystvo. 2024. No 1. P. 91-98. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-91-98>

Введение. Длина реки Барада составляет 65 км, площадь речного бассейна – 8630 км². Река играет важную роль в районе города Дамаск. Река Барада берет начало в середине равнины Забедани (до того, как в нее впадает Аль-Фижех со средним расходом 7,71 м³/с. Река течет на юг в илистом русле с наносами, русло реки довольно узкое, ширина его изменяется от 5 до 10 м при смене направления течения на основательной и неширокой равнине, именуемой равниной Барада [1]. По направлению течения в нее впадает основной приток Аль-Фижех. Это полноводная река, которая, впадая в реку Барада, приносит до 50% общего объема речного стока, и еще больше – в сезон половодий. Река Барада течет через г. Дамаск. Из Барады забирают воду многие ирригационные каналы, подающие ее на сельскохозяйственные земли в равнинной области, которая называется «Дамасская Готта» [2].

Река Барада впадает в озеро Атейбе. Среднегодовой расход воды в реке составляет 3,1 м³/с, а после выхода ее из горного района – 14 м³/с (рис. 1).

Бассейн реки Барада является одним из речных бассейнов, в котором имеются проблемы водных ресурсов. При этом на территории бассейна реки проживает население в самом большом количестве. Высокая плотность населения при сопоставлении с другими речными бассейнами в Сирии (почти 23% от общего

количества населения Сирии, плотность населения – 670 чел/км²), привела и еще приведет к увеличению потребления воды всеми отраслевыми водопользователями. С другой стороны, речной бассейн является замкнутой территорией с большими перепадами температуры и количества осадков между восточной и западной частями бассейна, а повторяющиеся сезоны засухи лишь усиливают давление на его водные ресурсы [3].

Цель исследований: изучение современных проблем водопользования для бассейна реки Барада (Сирия) на основе анализа гидрологических характеристик естественных водных ресурсов и составление прогнозов использования водных ресурсов на перспективу.

Материалы и методы исследований. Для достижения поставленной цели используются методы построения теоретической кривой обеспеченности на основе средних многолетних данных стока реки Барада (рис. 2).

Для составления прогноза в использовании водных ресурсов реки Барада применялся ретроспективный метод. По данным 2000 г., численность населения на территории речного бассейна реки Барада составляла 1,9 млн чел., то есть 21% от населения Сирии. В 2010 г., по данным переписи, население бассейна выросло до 4,4 млн чел. [4]. Темпы прироста населения по провинциям представлены на рисунке 3.

По данным вышеприведенных источников был составлен прогноз роста численности населения на территории речного бассейна реки Барада с тенденцией 6,3% в год. На основе этого прогноза развития и восстановления орошаемых сельскохозяйственных угодий в Сирии, а также

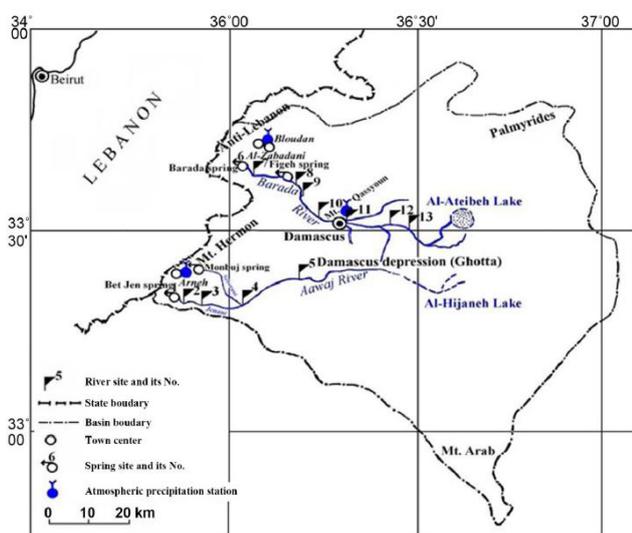


Рис. 1. Карта-схема бассейна реки Барада
Fig. 1. Map-scheme of the Barada River basin

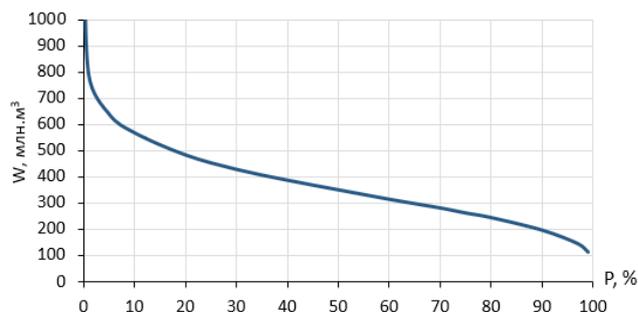


Рис. 2. Кривая обеспеченности речного стока для створа Дамасская Гота
Fig. 2. River flow availability curve for the Damascus Gotha alignment

промышленных производств выполнены кратко-срочные прогнозы для отраслевых водопользователей до 2025 г.

В целях анализа водохозяйственной ситуации в целом для речного бассейна использовался метод водохозяйственных балансов как один из наиболее современных в то же время, опробованных подходов к планированию комплексного водопользования и охраны водных объектов, на основе которого выполняется обоснование необходимости и последовательности проведения водохозяйственных и водоохраных мероприятий [5, 6].

Природоохранный попуск для реки Барада был назначен по методу 10%. Водозабор из подземных вод определен расчетом для гидравлически не связанных с рекой водоносных горизонтов.

При проведении исследований были произведены расчеты объемов водопотребления и водоотведения для всех участников водопользования и оценки имеющихся на территории речного бассейна водных ресурсов по количеству, режиму и качеству. Выполнены сравнительные оценки потребности в воде и возможности ее удовлетворения на базе собственных водных ресурсов. Исследования и расчеты проведены для всего речного бассейна и для подбассейнов реки, а также на уровне водохозяйственных участков для лет 90%- и 75%-ной обеспеченности по речному стоку. В оценках учтена неравномерность распределения стока реки Барада в различные периоды, режима водопотребления в орошаемом земледелии для условий рассматриваемого региона при составлении водохозяйственных балансов

по месяцам года, а также определен лимитирующий период с оценкой его водности.

Уравнение водохозяйственного баланса имеет вид:

$$ВХБ = W_P + W_{п.в.} + \sum W_{ввi} - \sum W_i - W_{поп.} - \alpha \cdot W_{п.в.}, \quad (1)$$

где W_P – объем стока реки; $W_{п.в.}$ – объем водозабора из подземных вод; $\sum W_{ввi}$ – объем возвратных вод i-го участника ВХБ; W_i – объем водопотребления i-м участком ВХБ; $W_{поп.}$ – объем расчетных попусков на нижележащий участок реки; α – коэффициент гидравлической связи речных и подземных вод; $\alpha \cdot W_{п.в.}$ – ущерб, нанесенный речному стоку от использования подземных вод [6, 7].

Оценки качества речной воды производились с использованием стандартной методики по коэффициенту предельной загрязненности:

$$K_{пз} = \frac{(\sum W_{пз} + \sum W_{вв})}{W_P + W_{п.в.} + \sum W_{ввi} - \sum W_i - \alpha \cdot W_{пв}} - 1. \quad (2)$$

Градации качества воды по величине коэффициента предельной загрязненности представлена в таблице 1.

Результаты и их обсуждение. Расчеты годовых водохозяйственных балансов проведены и изложены в табличной форме (табл. 2, 3).

При проведении анализа составляющих водохозяйственных балансов выявлено отсутствие дефицита воды в расчетные годы обеспеченности по стоку реки для прогнозного 2025 г., отсутствие необходимости переброски стока на выбранных водохозяйственных участках. При водохозяйственных расчетах подтверждено происходящее загрязнение реки сточными водами участников отраслевого водопользования в прогнозном варианте. Качество воды в реке соответствует уровню

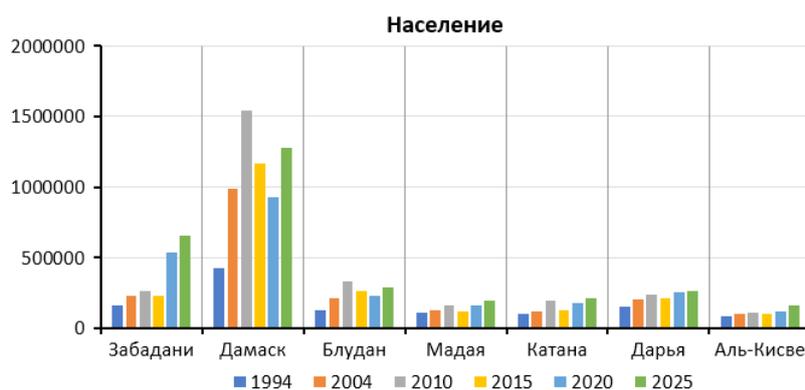


Рис. 3. Темпы прироста численности населения

Fig. 3. Population growth rate

Таблица 1. Классы качества воды в реке по коэффициенту предельной загрязненности

Table1. Water quality classes in the river by maximum pollution coefficient

$K_{ПЗр} / C_{гр}$	$\leq 0,8$	0,8-0,0	0,0-1	1-3	3-5	>5
Класс качества	Очень чистая	Чистая	Умеренно грязная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
Class of quality	Very clean	Clean	Moderately dirty	Contaminated	Dirty	Very dirty

Таблица 2. Перспективный годовой ВХБ на 2025 год с водохозяйственными мероприятиями (ВХМ) для года 75% обеспеченности
Table 2. Prospective annual WMB for 2025 with water management measures (WMM) for the year of 75% availability

Статьи ВХБ WMB items	Показатели / Indicators				
	P = 75%				
	б/м	1 ВХМ WMM	2 ВХМ WMM	3 ВХМ WMM	4 ВХМ WMM
Приходная часть / Inflow part					
Сток реки W_p / River flow W_r	261,26	261,26	261,26	261,26	261,26
Вп.в. / $W_i.p.$	38,364	38,364	38,364	38,364	38,364
Возвратные воды / Return water					
Город + диффузные стоки / Town + diffuse effluents	33,74	33,74	33,74	33,74	33,74
Село + диффузные стоки / Village + diffuse effluents	8,52	8,52	8,52	8,52	8,52
Промышленность / Industry	1,02	0	0	0	0
Животноводство / Animal husbandry	5,14	5,14	0	0	0
Орошение / Irrigation	2,08	2,08	1,4144	1,4144	1,4144
Итого $\sum W_{вв}$ / Total $\sum W_{rw}$	50,5	49,48	43,6744	43,6744	43,6744
Итого приход / Total inflow	350,124	349,104	343,2984	343,2984	343,2984
Расходная часть / Consumption part					
Водопотребление / Water consumption					
Город / Town	42,17	42,17	42,17	42,17	42,17
Село / Village	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17
Промышленность / Industry	20,31	19,29	19,29	19,29	19,29
Животноводство / Animal husbandry	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34
Орошение / Irrigation	20,84	20,84	10,676	10,676	10,676
Итого $\sum W$ / Total	102,83	101,81	91,646	91,646	91,646
1. Попуски $W_{поп.}$ / Drawdown W_d	209,01	209,01	209,01	209,01	209,01
Итого расход / Total outflow	311,84	310,82	300,65	300,65	300,65
ВХБ без учета качества / WMB without taking quality into account	38,29	38,29	42,64	42,64	42,64
III. Учет качества сточных вод / III Wastewater quality accounting					
Город + диффузные стоки / Town + diffuse effluents	506,1	506,1	506,1	0	0
Село + диффузные стоки / Village + diffuse effluents	68,16	68,16	68,16	68,16	0
Промышленность / Industry	25,5	0	0	0	0
Животноводство / Animal husbandry	4,11	4,11	0	0	0
Орошение / Irrigation	6,24	6,24	4,2432	4,2432	0
Итого $\sum W_{пз}$ / Total $\sum W_{mp}$	610,11	584,61	578,5032	72,4032	0
ВХБ с учетом качества / WMB with taking quality into account	-571,82	-546,32	-535,86	-29,76	42,64
Кпз / C_{mp}	1,67	1,56	1,47	-0,54	-0,83

«Загрязненная» для прогнозного сценария развития без принятия мер по снижению загрязняющей нагрузки на реку.

Исходя из местных условий рекомендованы водохозяйственные мероприятия (ВХМ) по каждому из отраслевых водопользователей:

1 ВХМ – введение оборотных систем водоснабжения на заводах по производству мрамора.

2 ВХМ – повторное использование животноводческих стоков мелкого рогатого скота для орошения технических культур. Внутрисистемная очистка и повторное использование части дренажного стока для целей нерегулярного орошения. Меры по оптимизации использования оросительной воды.

3 ВХМ – модернизация существующих очистных сооружений и строительство новых очистных сооружений в г. Дамаске и городских населенных пунктах в его окрестностях к 2025 г.

4 ВХМ – закрытие несанкционированных свалок на берегах реки, использование сорбентов и сооружений по сбору и отводу поверхностного стока с загрязненных земель по типу поглотителей поверхностных вод, рекультивация загрязненных земель в прибрежной зоне реки.

Для оценки качества речной воды рассчитывались коэффициенты предельной загрязненности речного стока КПЗ, которые характеризуют усредненную по рассматриваемым загрязняющим веществам кратность превышения ПДК.

Анализ эффективности водохозяйственных мероприятий по коэффициенту предельной загрязненности представлен на рисунке 4.

Результаты анализа изменения коэффициентов предельной загрязненности показали, что с учетом рекомендованных водохозяйственных и водоохраных мероприятий класс качества воды в реке стал соответствовать категории «чистая».

Наибольшую эффективность показали третье и четвертое водохозяйственные мероприятия. По результатам прогнозных расчетов рекомендованные мероприятия обеспечивают качество воды в реке Барада до категории «чистая вода».

Для определения лимитирующего периода в течение года и оценки его водности составлены

водохозяйственные балансы по месяцам года 90%-ной обеспеченности с учетом режимов орошения [6-9] в регионе (табл. 4).

Как следует из данных таблицы, с учетом рекомендованных водохозяйственных мероприятий балансы по месяцам года для реки Барада являются положительными, то есть не требуется регулирование стока реки во времени. Наиболее нагруженным по интенсивности использования воды является период с июня по октябрь, хотя в октябре и ноябре в регионе орошение не осуществляется. Качество воды в реке с учетом рекомендованных мероприятий относится к категории «Чистая» во все месяцы года.

Поскольку водность реки обеспечивает всех участников отраслевого водопользования

Таблица 3. Перспективный годовой ВХБ на 2025 год с водохозяйственными мероприятиями (ВХМ) для года 90% обеспеченности
Table 3. Prospective annual WMB for 2025 with water management measures (WMM) for the year of 90% availability

Статьи ВХБ WMB items	Показатели / Indicators				
	P = 90%				
	б/м	1 ВХМ WMM	2 ВХМ WMM	3 ВХМ WMM	4 ВХМ WMM
Приходная часть / Inflow part					
Сток реки W_p / River flows W_r	195,58	195,58	195,58	195,58	195,58
Вп.в. / $W_{i.p.}$	38,364	38,364	38,364	38,364	38,364
Возвратные воды / Return water					
Город + диффузные стоки / Town + diffuse effluents	33,74	33,74	33,74	33,74	33,74
Село + диффузные стоки / Village + diffuse effluents	8,52	8,52	8,52	8,52	8,52
Промышленность / Industry	1,02	0	0	0	0
Животноводство / Animal husbandry	5,14	5,14	0	0	0
Орошение / Irrigation	2,08	2,08	1,41	1,41	1,41
Итого $\sum W_{вв}$ / Total $\sum W_{rw}$	50,5	49,48	43,67	43,67	43,67
Итого приход / Total inflow	284,444	283,424	277,62	277,62	277,62
Расходная часть / Consumption part					
1. Водопотребление / Water consumption					
Город / Town	42,17	42,17	42,17	42,17	42,17
Село / Villagw	12,17	12,17	12,17	12,17	12,17
Промышленность / Industry	20,31	19,29	19,29	19,29	19,29
Животноводство / Animal husbandry	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34
Орошение / Irrigation	20,84	20,84	10,676	10,676	10,676
Итого $\sum W$ / Total	102,83	101,81	91,646	91,646	91,646
2. Попуски $W_{поп.}$ / Drawdown W_d	166,24	166,24	166,24	166,24	166,24
Итого расход / Total consumption	269,07	268,05	257,89	257,89	257,89
ВХБ без учета качества / WMB without taking quality into account	15,37	15,37	19,73	19,73	19,73
III. Учет качества сточных вод / III Wastewater quality accounting					
Город + диффузные стоки / Town + diffuse effluents	506,1	506,1	506,1	0	0
Село + диффузные стоки / Village + diffuse effluents	68,16	68,16	68,16	68,16	0
Промышленность / Industry	25,5	0	0	0	0
Животноводство / Animal husbandry	4,11	4,11	0	0	0
Орошение / Irrigation	6,24	6,24	4,24	4,24	0
Итого $\sum W_{пз}$ / Total $\sum W_{mp}$	610,11	584,61	578,50	72,40	0
ВХБ с учетом качества / WMB with taking quality into account	-594,74	-569,24	-558,77	-52,67	19,73
Кпз / C_{mp}	2,64	2,49	2,35	-0,38	-0,77

водными ресурсами, основной проблемой является снижение загрязняющей нагрузки на реку Барада. В настоящее время при сильном удорожании материалов и работ актуальным стало направление создания локальных очистных сооружений, которые являются недорогими, но имеют достаточную эффективность – до 90% [10-12]. В результате изучения положительного влияния

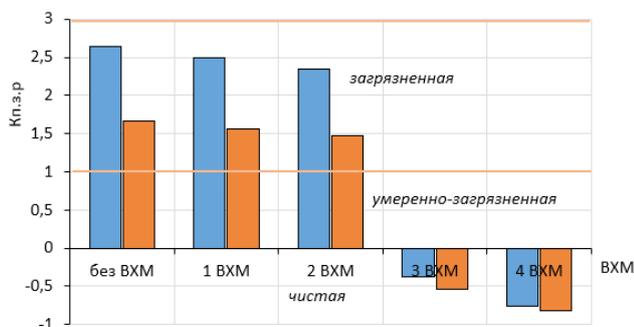


Рис. 4. Анализ эффективности водохозяйственных мероприятий по коэффициенту предельной загрязненности
Fig. 4. Analysis of the efficiency of water management measures by the coefficient of marginal pollution

и высокой эффективности сорбентмелиоранта СОРБЕКС [10, 11] при очистке почв и диффузных стоков рекомендуется его использование для очистки дренажных и сбросных вод в случае устройства локальных очистных сооружений на водосборе реки Барада с целью детоксикации грунта и предупреждения загрязнения почвы тяжелыми металлами на территории прибрежных зон реки. Выполнен расчет по сорбционной способности, по результатам которого гранулированный сорбентмелиорант рекомендуется отсыпать на спланированную поверхность земель бывших свалок в прибрежной зоне слоем 3...5 см с целью создания сорбционного экрана. На 1 га площади требуется около 20 т сорбентмелиоранта. Ориентировочная стоимость его составляет 860 тыс. сирийских фунтов за 1 т, на слой Сорбэкса рекомендуется отсыпать почвенную смесь слоем 20 см.

Дальнейшие исследования связаны с изучением гидравлических характеристик сорбентов и их использования в локальных сооружениях на водосборе реки для обеспечения качества воды в реке Барада.

Таблица 4. Оценка лимитирующего периода водности реки Барада
Table 4. Assessment of the limiting period of water content of the Barada River

Параметры Parameters	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
I. Приходная часть / Inflow part													
Wст / Wst.	72,71	22,54	18,78	5,82	5,09	3,91	3,91	3,91	9,45	9,45	18,90	21,08	195,55
Wп.в. / Wi.p.	1,889	1,889	1,889	5,029	5,029	5,029	5,029	5,029	1,889	1,889	1,889	1,889	38,364
Wвв.равн. / Wr.w.eq.	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	3,522	42,26
Wвв.ор. / Wr.w.ir.	0	0	0	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0	0	0	0	1,414
Итого приход Total inflow	78,12	27,95	24,19	14,65	13,92	12,74	12,74	12,74	14,86	14,86	24,31	26,50	277,59
II. Расходная часть / Consumption part													
Wравн. / Weq	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	6,748	80,97
Wор. / Wir	0	0	0	2,135	2,135	2,135	2,135	2,135	0	0	0	0	10,676
Wпоп. / Wd	61,80	19,16	15,96	4,94	4,33	3,32	3,32	3,32	8,03	8,03	16,07	17,92	166,22
Итого расход Total consumption	68,55	25,91	22,71	13,83	13,21	12,21	12,21	12,21	14,78	14,78	22,82	24,67	257,86
ВХБ с уч.кач. WMB with regarding quality	9,57	2,04	1,48	0,82	0,71	0,54	0,54	0,54	0,08	0,08	1,50	1,83	19,72
Кп.з. / Cmp	-0,95	-0,83	-0,80	-0,34	-0,25	-0,01	-0,01	-0,01	-0,57	-0,57	-0,80	-0,82	-0,77

Выводы

Выполнена оценка водных ресурсов и проведен анализ особенностей использования вод реки Барада с учетом местных условий. Составлен прогноз изменения численности населения для бассейна реки Барада до 2025 г. с приростом населения 6,3% в год по данным ретроспективных лет. В соответствии с демографическим прогнозом предусмотрено увеличение водопотребления для различных отраслей экономики

региона. Рост народонаселения на территории речного бассейна, восстановление и дальнейшее развитие промышленных предприятий, оросительных систем по прогнозам приведут к увеличению количества образующихся бытовых и промышленных сточных вод, а также диффузных стоков с загрязненных территорий. Неправильный сбор, отвод, несвоевременное удаление и неудовлетворительная очистка сточных вод и диффузных стоков ухудшат качество воды

в реке и нанесут экологический ущерб окружающей среде.

Для решения вышеперечисленных проблем выполнен анализ гидрологических характеристик реки, построена теоретическая кривая обеспеченности на основе средних многолетних данных стока реки Барада в Сирии, составлены водохозяйственные балансы по оценке водохозяйственной ситуации и лимитирующего периода по водности реки в течение года. Оценка условий использования воды и периодов водности выполнена для лет 90%-ной обеспеченности по стоку реки для сельского хозяйства на базе орошения и для лет 75%-ной обеспеченности по стоку реки для остальных отраслевых водопользователей. Также выполнены оценки загрязненности речного стока по классу качества воды.

Даны рекомендации по восстановлению качества воды в реке для разных по водности лет. При проведении водохозяйственного анализа выявлены основные причины дефицита

воды нормативного качества и загрязнения реки, а именно: плохо очищаемые сточные воды; дренажный сток с орошаемых земель; загрязненные диффузные стоки с территорий свалок. Исходя из этого рекомендован комплекс водохозяйственных и водоохраных мероприятий, направленных на улучшение качества воды в реке. По прогнозным расчетам, они должны снизить загрязняющую нагрузку на реку со стороны всех участников отраслевого водопользования.

При составлении водохозяйственных балансов по месяцам года не выявлена необходимость регулирования стока во времени. Поскольку диффузные стоки с территорий составляют до 30% загрязняющей нагрузки на реку в общей структуре загрязняющей нагрузки, в рекомендациях учтено использование сорбентмелиорантов для очистки диффузного и дренажного стока с эффективностью до 90%. Исследования гидравлических и сорбционных параметров сорбентов продолжаются в настоящее время.

Список использованных источников

1. **Adriana H.G., Nord T.** Hydrogeology and geochemical characteristics of groundwater in a typical small-scale agricultural area of Syria // *Journal of Asia, Earth Sciences, Syria*. 2007. № 29. Pp. 18-28
2. **Арраф Фирас.** Причины снижения водного баланса в водосборном бассейне Барада Авадж (Дамаск) до восстания в Сирии // *Открытый журнал современной гидрологии*. 2019. № 9. С. 143-160. 10.4236/ojmh.2019.94008.
3. **Arraf, Firas.** Causes of Decreasing Water Balances in the Barada Awaj (Damascus) Drainage Basin until the Uprising in Syria // *Open Journal of Modern Hydrology*. 2019. V. 09. № 4 – pp. 143-160.
4. **Кабтул Х.** Анализ состояния водных ресурсов и их использования для реки Барада в Сирии // *Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых: В 5 т. Т. 3. Курск, 19-20 мая 2022 г. / Отв. ред. М.С. Разумов. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 87-91.*
5. Государственное министерство по вопросам окружающей среды Сирийской Арабской Республики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/12504>.
6. **Раткович Л.Д.** Водохозяйственная система с территориально-временным регулированием стока: учебное пособие / Глазунова И.В., Соколова С.А., Маркин В.Н. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 70 с. EDN: LKHNAУ.
7. **Маркин В.Н.** Особенности методологии комплексного водопользования: монография / В.Н. Маркин, Л.Д. Раткович, И.В. Глазунова. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. 140 с. – ISBN978-5-9675-1436-4. – EDN YPASBL
8. **Кирейчева Л.В.** Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий // *Природообустройство*. 2015. № 5. С. 64-69.

References

1. **Adriana H.G., Nord T.** Hydrogeology and geochemical characteristics of groundwater in a typical small-scale agricultural area of Syria. *Journal of Asia, Earth Sciences, Syria*, 29, 2007, 18-28.
2. **Arraf, Firas.** (2019). Causes of Decreasing Water Balances in the Barada Awaj (Damascus) Drainage Basin until the Uprising in Syria. *Open Journal of Modern Hydrology*. 09. 143-160. 10.4236/ojmh.2019.94008;
3. **Arraf, Firas.** (2019). Causes of Decreasing Water Balances in the Barada Awaj (Damascus) Drainage Basin until the Uprising in Syria. *Open Journal of Modern Hydrology*. 09. 143-160. 10.4236/ojmh.2019.94008
4. **Kabtul Kh.** Analysis of the state of water resources and their use for the Barada River in Syria // *Youth and system modernization of the country: Collection of scientific articles of the 7th International scientific conference of students and young scientists. In 5 volumes, Kursk, May 19-20, 2022. Executive editor M.S. Razumov/ Volume 3. Kursk: South-West State University, 2022, P. 87-91.*
5. State Ministry for environmental affairs of the Syrian Arab Republic [Elektronik resource]. – Access mode: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/12504>;
6. **Ratkovich L.D.** Water management system with territorial-temporal regulation of flow: textbook / Glazunova I.V., Sokolova S.A., Markin V.N. Moscow: RSAU-MAA. 2020. 70 p. EDN: LKHNAУ.
7. **Markin V.N.** Features of the methodology of complex water use / Markin V.N., Ratkovich L.D., Glazunova I.V. Moscow: RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, 2016. 140 p. – ISBN978-5-9675-1436-4. – EDN YPASBL.
8. **Kireycheva L.V.** Main directions for reducing the anthropogenic load on water objects due to the reduction of drainage water discharge from reclaimed territories // *Prirodobustrojstvo*. 2015. № 5. P. 64-69.
9. **Kireycheva L.V., Glazunova I.V.** Ecologically safe resources. Technical solutions for drainage and waste water treatment // *Water Magazine*. 2008. No 4. P. 44-47.

9. **Кирейчева Л.В., Глазунова И.В.** Экологически безопасные ресурсы. Технические решения очистки дренажно-сбросных вод // Вода Magazine. 2008. № 4. С. 44-47.

10. Принципы моделирования мелиоративного режима при комплексных мелиорациях: Отчет по теме 12.03.01 «Разработать совокупность принципов, методов, средств и форм управления режимами комплексных мелиораций земель для различных природных комплексов» / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, И.В. Глазунова [и др.]. М.: РАСХН, 2001. 67 с.

11. **Karpenko N.P., Glazunova I.V., Egemberdiev D.K.** Biomeliiorant for the restoration of saline and degraded soils in the arid zone // International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science» (AEES2021). London, Virtual, 27-29 октября 2021 г. Vol. 1010. London: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 012044. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012044. EDN: DAIUET.

12. **Стрельбицкая Е.Б., Соломина А.П.** Сорбционно-фильтрующие сооружения в технологиях очистки дренажного стока гидромелиоративных систем Нечерноземной зоны Российской Федерации // Природообустройство. 2020. № 4. С. 28-36. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-4-28-36.

13. **Заичкина М.А.** Очистка сточных вод с использованием сорбентов на основе детоксикации почвы содержащие тяжелые металлы / М.А. Заичкина, М.А. Денисова // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова: сборник статей, Москва, 06-08 июня 2022 года. Том 1. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 60-64. – EDN ZNWEEU. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49732471>

Об авторах

Ирина Викторовна Глазунова, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; ORCID 0000-0003-4931-2008, SCOPUS: 57500684900; ivglazunova@mail.ru

Кабтул Хала, аспирант кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; halak93@gmail.com

Сергей Николаевич Редников, д-р техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; ORCID: 0000-0003-3435-7166; SCOPUS: 57170810400; srednikov@mail.ru

Светлана Анатольевна Соколова, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; ORCID: 0000-0003-3997-6994; SCOPUS: 57218659380; sokolovasvetlava@mail.ru

Author information

Irina V. Glazunova, candidate of technical sciences, associate professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; ORCID 0000-0003-4931-2008; ivglazunova@mail.ru

Kabtoul Hala, postgraduate student of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; Leader ID 2715800; ORCID: 0000-0003-1549-8449; halak93@gmail.com

Sergey N. Rednikov, doctor of technical sciences, associate professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; Leader 4328126; ORCID: 0000-0003-3435-7166; SCOPUS: 57170810400; srednikov@mail.ru

Svetlana A. Sokolova, candidate of technical sciences, associate professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; Leader ID 2715112; ORCID: 0000-0003-3997-6994; SCOPUS: 57218659380; sokolovasvetlana@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Глазунова И.В., Кабтул Хала, Редников С.Н., Соколова С.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors state that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Authors' contributions

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 13.07.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.12.2023

Irina V. Glazunova, Kabtoul Hala, Sergey N. Rednikov, Svetlana A. Sokolova carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

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

Статья оригинальная

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-99-103>

УДК 630*911:502/504:630.627



ОЦЕНКА НАЧАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПАРКОВЫХ ЗОН, СОЗДАВАЕМЫХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Т.И. Сулейманов, Т.М. Тахмазов ✉

Национальное аэрокосмическое агентство; г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. Статья посвящена разработке методов оценки состояния начального развития лесопарковых зон, создаваемых в пригородных зонах. Цель исследований: рассмотреть возможность введения мультипликативного показателя, в равной степени учитывающего указанные показатели, исследовать его экстремальные характеристики для однородных и гетерогенных земельных участков. Рассмотрена взаимосвязь фактора C из универсального уравнения почвенных потерь и веса сухой биомассы лиственных деревьев, которые в свою очередь находятся в регрессионной зависимости от NDVI (Normalized difference vegetation index, Нормализованный вегетационный индекс) – числового показателя качества и количества древесной растительности на участке. Для оценки начального состояния развития городской лесопарковой зоны предложены два критерия. Показано, что первый критерий имеет минимум при некотором значении NDVI. Второй критерий представлен в виде функционала, содержащего функцию взаимосвязи NDVI и фактора C . Определено, что экстремаль этого функционала имеет вид функции обратной зависимости NDVI и фактора C . Реальное существование такой обратной зависимости между NDVI и C открывает новые возможности для использования этого функционала в метрологии.

Ключевые слова: лесопарковые зоны, урбанизация, растительность, почва, оптимизация

Формат цитирования: Сулейманов Т.И., Тахмазов Т.М. Оценка начального развития лесопарковых зон, создаваемых на урбанизированных территориях // Природообустройство. 2024. № 1. С. 99-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-99-103>

Original article

ASSESSMENT OF THE INITIAL DEVELOPMENT OF FOREST PARK ZONES CREATED IN URBANIZED AREAS

T.I. Suleymanov, T.M. Tahmazov ✉

National Aerospace Agency; Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract. The article is devoted to the development of methods for assessing the state of initial development of forest park zones created in suburban areas. The purpose of the research is to consider the possibility of introducing a multiplicative indicator that equally takes into account these indicators, to study its extreme characteristics for homogeneous and heterogeneous land plots. The relationship between factor C from the universal equation of soil losses and the weight of dry biomass of deciduous trees which, in turn, are regression dependent on NDVI (Normalized difference vegetation index), a numerical indicator of the quality and quantity of woody vegetation on the site, is considered. Two criteria are proposed to assess the initial state of development of the urban forest park zone. It is shown that the first criterion has a minimum at a certain NDVI value. The second criterion is presented in the form of a functional containing the function of the relationship between NDVI and factor C . It is determined that the extreme of this functional has the form of a function of the inverse relationship between NDVI and factor C . The real existence of such an inverse relationship between NDVI and C opens up new opportunities for using this function in metrology.

Keywords: development of forest park zones, urbanization, vegetation, soil, optimization

Format of citation: Suleymanov T.I., Tahmazov T.M. Assessment of the initial development of forest park zones created in urbanized areas // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 99-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-99-103>

Введение. Как отмечается [1], только в США ожидается расширение городского ландшафта в течение 2010-2060 гг. на 38,6 млн га. Степень покрытия пригородных зон растительностью играет важную роль в экологическом состоянии городов и в локальных климатических изменениях, происходящих в урбанизированных регионах.

В условиях быстрой урбанизации поддерживаемое развитие городов имеет определяющее значение [2, 3]. Одними из показателей такого развития урбанизированных зон являются восстановление городских лесопарковых зон и увеличение степени покрытия земель растительностью [4, 5]. Вместе с тем развитие урбанизированных территорий и территорий больших городов происходит за счет освоения тех пригородных сел и поселений, которым охвачены практически все большие города. Население таких сел и поселений, интенсивно занимаясь различными видами сельского хозяйства, активно эксплуатирует землю. В итоге это приводит к необходимости учета состояния пригородных земельных участков, планируемых к переходу во владение городских муниципалитетов.

Одна из наиболее распространенных методик определения уровня эрозионности вновь осваиваемых земель – применение Универсального уравнения потерь почвы (USLE), которое является оценкой среднегодовых земельных потерь [6], определяемой по формуле:

$$A = R \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P, \quad (1)$$

где A – среднегодовая оценка почвенных потерь земли; R – фактор эрозионности ввиду дождей; k – фактор эрозионной почвы; LS – топографический фактор; C – фактор,

характеризующий степень покрытия земли растительностью, а также практику управления такими земельными участками; P – фактор, характеризующий практику консервации указанных земель.

Из вышеуказанных 5 факторов наиболее оперативно управляемым следует считать фактор C [6], так как остальные факторы являются либо инерционными (R, k, P), либо неуправляемыми (LS).

Следует отметить, что C -фактору посвящено значительное количество опубликованных работ [6-8]. Как отмечается [6], C -фактор для незаросшей почвы равен единице и уменьшается до нуля для хорошо развитого растительного участка.

Вместе с тем, как утверждается [9], для городских лесопарковых участков разработано слишком малое количество аллометрических уравнений, способных оценить биомассу растительности. Так, для лиственных деревьев предложен [9] показатель веса сухой биомассы в деревьях, определяемый как

$$DWB = a_1 \cdot \exp(\beta_1 \cdot NDVI_b), \quad (2)$$

где $a_1, \beta_1 = const$.

Логарифмические кривые, соответствующие обратной функции выражения (2), для вечнозеленых и лиственных деревьев приведены на рисунке 1 [9].

Как представляется, характеристика городских лесопарковых зон типа (2) характеризует только установившийся период их развития. Вместе с тем на начальном этапе формирования лесопарковой полосы на базе бывших пригородных сельскохозяйственных участков следует

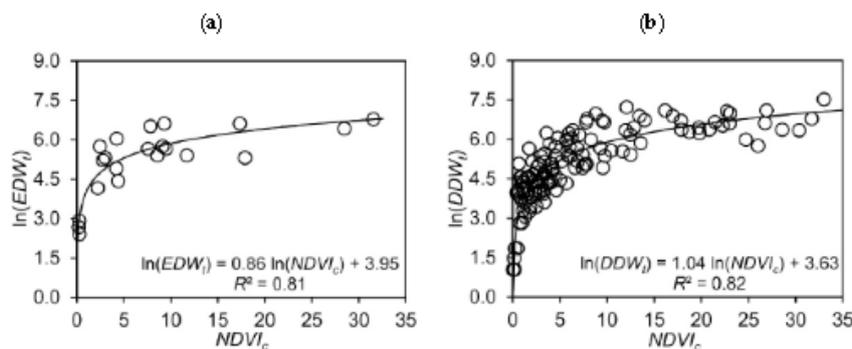


Рис. 1. Кривые логарифмической зависимости между DWB для вечнозеленых (а) и лиственных деревьев (б) от NDVI [9]:

EDW-DWB для вечнозеленых деревьев; DDW-DWB для лиственных деревьев

Fig. 1. Logarithmic dependence curves between DWB for evergreen (a) and deciduous trees (b) from NDVI [9]: EDW-DWB for evergreen trees; DDW-DWB for deciduous trees

руководствоваться более объективным показателем, совместно учитывающим показатели C и DWB .

Цель исследований: рассмотреть возможность введения мультипликативного показателя, в равной степени учитывающего указанные показатели, исследовать его экстремальные характеристики для гомогенных и гетерогенных земельных участков.

Материалы и методы исследований.

Нами предлагается два показателя состояния начального развития лесопарковых зон в урбанизированных территориях – соответственно для гомогенных и гетерогенных земельных участков, включенных в лесопарковый массив. Рассмотрим эти показатели.

1. Для гомогенных участков предлагается следующий показатель:

$$\eta_1 = C \cdot DWB. \quad (3)$$

С учетом (1)-(3) получим

$$\eta_1 = (1,02 - 1,21 \cdot NDVI) \cdot a_1 \exp(\beta_1 NDVI). \quad (4)$$

Исследуем (4) на экстремум от $NDVI$. Имеем

$$\frac{d\eta_1}{dNDVI} = -1,21 \cdot a_1 \exp(\beta_1 NDVI) + (1,02 - 1,21 NDVI) \cdot a_1 [\exp(\beta_1 NDVI)] \cdot \beta_1. \quad (5)$$

Для определения оптимального режима приравняем (5) к нулю. Имеем

$$1,21 = (1,02 - 1,21 NDVI) \beta_1. \quad (6)$$

Из (6) получаем

$$NDVI = \frac{1,02}{1,21} - \frac{1}{\beta_1}. \quad (7)$$

Очевидно, что при решении (7) η_1 достигает максимальной величины, так как вторая производная η_1 по $NDVI$ всегда является отрицательной величиной. Следовательно, при некоторой величине $NDVI$, определяемой выражением (7), предлагаемый универсальный показатель гомогенного земельного участка, характеризующий как почвенные потери, так и сухую биомассу, достигает максимума. При этом левее этого максимума почву земельного участка можно считать относительно «потерянной», а правее максимума – относительно добротной.

2. Для гетерогенных земельных участков, включаемых в создаваемую лесопарковую зону, предлагается следующая процедура оценки их состояния.

Допускаем, что существует упорядоченное множество $\{C_i\}; i = 1, n$, где C_i – величина

фактора C на i -м участке. Упорядоченность указанного множества характеризуется следующим условием:

$$C_i = C_{i-1} + \Delta C; \Delta C = const; i = \overline{1, n}; C_0 = 0. \quad (8)$$

Применительно к i -му участку показатель η_2 имеет вид:

$$\eta_{2i} = C_i \cdot DWB. \quad (9)$$

Для всех i получим

$$\eta_{0.g.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{2i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot DWB_i. \quad (10)$$

От дискретной модели (10) условно перейдем на непрерывную модель. Имеем

$$\eta_{0.H.} = \frac{1}{C_{max}} \int_0^{C_{max}} C \cdot DWB dC. \quad (11)$$

С учетом (2) выражение (11) перепишем как

$$\eta_{0.H.} = \frac{1}{C_{max}} \int_0^{C_{max}} C \cdot [a_1 \exp(\beta_1 NDVI)] dC. \quad (12)$$

Целью оптимизационного исследования является нахождение такой функциональной зависимости $NDVI = f(C)$, при которой (12) достиг бы экстремальной величины.

Для решения указанной задачи несколько сузим пространство непрерывных и дважды дифференцируемых функций и будем искать оптимальную зависимость между $NDVI$ и C , наложив на эту зависимость следующее ограничение:

$$\int_0^{C_{max}} NDVI(C) dC = C_1; C_1 = const. \quad (13)$$

С учетом (12) и (13) сформируем задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал F которой имеет вид:

$$F = \frac{1}{C_{max}} \int_0^{C_{max}} C \cdot [a_1 \exp(\beta_1 NDVI(C))] dC - \lambda \left[\int_0^{C_{max}} NDVI(C) dC - C_1 \right], \quad (14)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно [10] решение данной задачи должно отвечать условию:

$$\frac{d\{C \cdot [a_1 \exp(\beta_1 NDVI(C))] - \lambda NDVI(C)\}}{dNDVI} = 0. \quad (15)$$

Из условия (15) получаем

$$C \cdot a_1 [\exp(\beta_1 NDVI(C))] \cdot \beta_1 - \lambda = 0. \quad (16)$$

Из (16) находим

$$\exp(\beta_1 NDVI(C)) = \frac{\lambda}{C a_1 \beta_1}. \quad (17)$$

Из (17) получаем

$$NDVI(C) = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1}. \quad (18)$$

Для вычисления вставим (18) в (13).

Получаем

$$\int_0^{C_{max}} \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} dC = C_1. \quad (19)$$

Из (19) находим

$$\frac{\ln \lambda}{\beta} - \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC = C_1. \quad (20)$$

Из (20) получаем

$$\ln \lambda = \left[C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC \right] \beta. \quad (21)$$

Из (21) имеем

$$\lambda = \exp \left[\beta_1 \cdot C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC \right]. \quad (22)$$

С учетом (18) и (22) получим

$$NDVI = \frac{1}{\beta_1} \left[\beta_1 \cdot C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC \right] - \frac{1}{\beta_1} \ln(Ca_1\beta_1) \quad (23)$$

или
$$NDVI = C_2 - \frac{1}{\beta_1} \ln(Ca_1\beta_1), \quad (24)$$

где
$$C_2 = C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC. \quad (25)$$

При решении (24) функционал (14) достигает минимума, так как повторная производная (16) по $NDVI(C)$ оказывается всегда положительной величиной.

Таким образом, функционал F , как и показатель $\eta_{0.H.}$, достигает минимума при обратной пропорциональной связи между $NDVI$ и C , что согласно [9] вполне возможно. Следовательно, в реальной практике следует ожидать экстремальной величины оценки η_2 , что делает функционал F вполне полезным для оценки начального состояния лесопарковой зоны.

Результаты и их обсуждение. Прежде всего обсудим реальность полученного результата существования обратной зависимости между показателем C и индексом $NDVI$. Как отмечается [6, 7], широко используется линейное регрессионное уравнение между C фактором и $NDVI$ как

$$C = 1,02 - 1,21 \cdot NDVI. \quad (26)$$

В то же время известны факты экспоненциальной аппроксимации указанной зависимости [8]. График линейной регрессионной зависимости (26) приведен на рисунке 2.

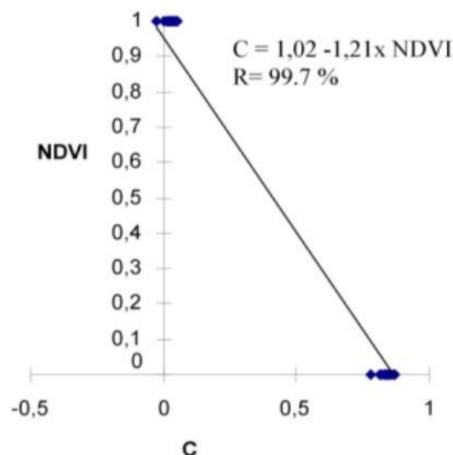


Рис. 2. График регрессионной зависимости между C -фактором и $NDVI$ [7]

Fig. 2. Graph of regression dependence between C -factor and $NDVI$ [7]

Очевидно, что строгая линейность указанной зависимости является абстракцией, и для учета всевозможных искривлений линии нами было применено ограничительное условие (13), допускающее выбор из некоторого подмножества кривых, отвечающих этому условию.

Таким образом, сформулирована и решена задача функциональной оценки состояния начального развития лесопарковых зон, создаваемых на урбанизированных территориях.

Для функциональной оценки начального состояния развития городской лесопарковой зоны, создаваемой на базе бывших пригородных сельскохозяйственных участков, предложены два критерия. Показано, что первый из предлагаемых критериев имеет минимум при некотором значении $NDVI$. Этот признак может быть использован для осуществления автоматической оценки значения указанного индекса, характеризующего начальное развитие лесопарковой зоны. Второй критерий имеет вид функционала, зависящего от функции взаимосвязи $NDVI$ и C -фактора. Показано, что этот функционал достигает своего минимума при наличии обратной зависимости $NDVI$ и C -фактора, что может свидетельствовать о состоянии нормального развития лесопаркового участка. Этот признак может быть использован для осуществления автоматической оценки состояния нормального развития лесопаркового участка.

Выводы

Проанализирован вопрос об оценке состояния начального развития лесопарковых зон, создаваемых в урбанизированных пригородных зонах. Исследована взаимосвязь фактора C из метода USLE (универсального

уравнения почвенных потерь) и веса сухой биомассы лиственных деревьев, которые в свою очередь находятся в регрессионной зависимости от NDVI.

Для оценки начального состояния развития городской лесопарковой зоны, создаваемой на базе бывших пригородных сельскохозяйственных участков, предложены два критерия. Показано, что первый из предлагаемых критериев имеет

минимум при некотором значении NDVI. Второй критерий имеет вид функционала, зависящего от функции взаимосвязи NDVI и С-фактора. Показано, что экстремаль этого функционала имеет вид функции обратной зависимости NDVI и фактора С. Наличие в реальности обратной зависимости NDVI и С открывает возможности для использования этого функционала в метрологических целях.

Список использованных источников

1. **Nowak D.J., Greenfield E.J.** US urban forest statistics, values and projections // J. For. 2018. № 116. Pp. 164-177.
2. **Andersson E.** Urban landscapes and sustainable cities // Ecol. Soc. 2006. № 11. Pp. 1-17.
3. **Cohen M.** A systematic review of urban sustainability assessment literature // Sustainability. 2017. № 9. P. 2048.
4. **E. Gregory McPherson, Simpson J.R., Xiao Q., Wu C.** Los-Angeles 1 million tree canopy cover assessment (general technical report PSW-GTR-207) // USDA forest service, Pacific Southwest Research Station: Albany, CA, USA. 2008.
5. **Grove J.M., O'Neil-Dunne J., Pelletier K., Nowak D., Walton J.** A report on New York city's present and possible urban tree canopy // USDA forest service. Northern research station: Newtown Square, PA, USA. 2006.
6. **Patil R.J., Sharma S.K.** Remote sensing and GIS based modeling of crop/cover nmanagement factor C of USLE in Shakker river watershed // International conference on chemical, agricultural and medical sciences (CAMS-2013). 2013. Dec. 29-30. Kuala Lumpur (Malaysia).
7. **Karaburun A.** Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed // Ozean Journal of Applied Sciences. 2010. № 3(1).
8. **Schmidt S., Alewell C., Meusburger K.** Mapping spatio-temporal dynamics of the cover and management factor (C-factor) for grasslands in Switzerland // Remote Sensing of Environment. 2018. № 211. Pp. 89-104.
9. **Wu J.** Developing general equations for urban tree biomass estimation with high-resolution satellite imagery // Sustainability 2019. № 11. P. 4347. DOI: 10.3390/su11164347.
10. **Эльсгольц Л.Е.** Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

Об авторах

Тофик Ибрагим оглы Сулейманов, д-р техн. наук, профессор; journal_anasa@yahoo.com

Табриз Мубариз оглы Тахмазов, докторант; Thmzovtbriz66@gmail.com

Критерии авторства / Criteria of authorship

Сулейманов Т.И., Тахмазов Т.М. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of Interest:

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

Вклад авторов / Authors' contributions

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 20.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review vided 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 10.12.2023

References

1. **Nowak D.J., Greenfield E.J.** US urban forest statistics, values and projections // J. For. 2018. № 116. Pp. 164-177.
2. **Andersson E.** Urban landscapes and sustainable cities // Ecol. Soc. 2006. № 11. Pp. 1-17.
3. **Cohen M.** A systematic review of urban sustainability assessment literature // Sustainability. 2017. № 9. P. 2048.
4. **E. Gregory McPherson, Simpson J.R., Xiao Q., Wu C.** Los-Angeles 1 million tree canopy cover assessment (general technical report PSW-GTR-207) // USDA forest service, Pacific Southwest Research Station: Albany, CA, USA. 2008.
5. **Grove J.M., O'Neil-Dunne J., Pelletier K., Nowak D., Walton J.** A report on New York city's present and possible urban tree canopy // USDA forest service. Northern research station: Newtown Square, PA, USA. 2006.
6. **Patil R.J., Sharma S.K.** Remote sensing and GIS based modeling of crop/cover nmanagement factor C of USLE in Shakker river watershed // International conference on chemical, agricultural and medical sciences (CAMS-2013). 2013. Dec. 29-30. Kuala Lumpur (Malaysia).
7. **Karaburun A.** Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed // Ozean Journal of Applied Sciences. 2010. № 3(1).
8. **Schmidt S., Alewell C., Meusburger K.** Mapping spatio-temporal dynamics of the cover and management factor (C-factor) for grasslands in Switzerland // Remote Sensing of Environment. 2018. № 211. Pp. 89-104.
9. **Wu J.** Developing general equations for urban tree biomass estimation with high-resolution satellite imagery // Sustainability 2019. № 11. P. 4347. DOI: 10.3390/su11164347.
10. **Elsgolts L.E.** Differential equations and calculus of variations. Moscow, Nauka Publ., 1974. 432 p.

Author information

Tofik I. ogly Suleymanov, doctor of technical sciences, professor; journal_anasa@yahoo.com

Tabris M. ogly Tahmazov, doctoral student; Thmzovtbriz66@gmail.com

Suleymanov T.I., Tahmazov T.M. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-104-114>

УДК 630*:581.5



ТАКСАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕСНОГО ФОНДА БАРНАУЛЬСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА АЛТАЙСКОГО КРАЯ

А.А. Малиновских[✉], И.В. Гефке, М.А. Савин, А.С. Чичкарев

Алтайский государственный аграрный университет; 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр-кт Красноармейский, 98, Россия

Аннотация. Исследования проведены с целью выявления лесоводственных и таксационных особенностей насаждений в Барнаульском лесничестве Алтайского края, расположенном в пригородной зоне г. Барнаула. Были выбраны участки лесного фонда на разном расстоянии от черты г. Барнаула: в зоне густой сети дорог и населенных пунктов (0-15 км) и в зоне менее интенсивной инфраструктуры (37 км). С использованием методов экологических профилей, вариационной статистики, сравнительного анализа, лесной таксации обработаны таксационные материалы 32 лесных кварталов, включающие в себя данные 718 лесотаксационных выделов. Используя двухфакторный дисперсионный анализ установили, что отдельные изученные показатели лесных насаждений (средняя высота, полнота, класс бонитета и запас на 1 га) имеют зависимость от типа леса. Таксационные показатели древостоев в пригородном массиве (кроме среднего запаса на 1 га) не имеют достоверной зависимости от черты г. Барнаула. Дисперсионный анализ применительно к естественному возобновлению главной породы показал, что средняя высота и густота зависят от типа леса, а удаление от черты города влияет только на среднюю густоту. Высокие значения встречаемости (65,4-89,5%) подроста отмечены в свежем бору, в травяном бору ниже (15,5-48,4%), но встречаемость увеличивается по мере удаления от города в обоих типах леса. Клен ясенелистный находит свою экологическую нишу преимущественно в травяном бору, вытесняя местные виды растений, препятствуя естественному возобновлению сосны. Предварительно установлено, что параметры лесных насаждений в пригородных сосняках Барнаула зависят от типа леса, проявляя разную структурную и позиционную устойчивость по отношению к антропогенным факторам.

Ключевые слова: лесной фонд, древостой, подрост, подлесок, тип леса, сосна обыкновенная, пригородные леса, устойчивость насаждений

Формат цитирования: Малиновских А.А., Гефке И.В., Савин М.А., Чичкарев А.С. Таксационная характеристика особенностей лесного фонда Барнаульского лесничества Алтайского края // Природообустройство. 2024. № 1. С. 104-114. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-104-114>

Original article

TAXATION CHARACTERISTICS OF THE FEATURES OF THE FOREST FUND OF THE BARNAUL FORESTRY OF THE ALTAI TERRITORY

A.A. Malinovskikh[✉], I.V. Gefke, M.A. Savin, A.S. Chichkarev

Altai State Agricultural University, Krasnoarmeyskiyprospekt, 98, Altai Region, Barnaul, 656049, Russia

Abstract. The study was conducted in order to identify forestry and taxation features of forest plantations in the Barnaul forestry of the Altai Territory, located in the suburban area of Barnaul. Areas of the forest fund were selected at different distances from the city of Barnaul: in the zone of a dense network of roads and settlements (0-15 km) and in the zone of less intensive infrastructure (37 km). Using the methods of ecological profiles, variation statistics, comparative analysis, and forest taxation, the taxation materials of 32 forest quarters were processed, including data from 718 forest taxation allotments. Using two-factor analysis of variance, it was found that the individual studied indicators of forest plantations (average height, completeness, bonus class and reserve per 1 ha) depend on the type of forest. The taxation indicators of stands in the suburban area (except for the average stock per 1 ha) do not have a reliable dependence on the features of Barnaul. The analysis of variance in relation to the natural renewal of the main breed showed that the average height and density depend on the type of forest, and the distance from the city limits affects only the average density. High values of occurrence (65.4-89.5%) of undergrowth were noted in fresh forest, lower in grass forest (15.5-48.4%), but the occurrence increases with distance

from the city in both types of forest. Ash-leaved maple finds its ecological niche mainly in the grass forest, displacing local plant species, preventing the natural renewal of pine. It has been previously established that the parameters of forest plantations in suburban pine forests of Barnaul depend on the type of forest, showing different structural and positional stability in relation to anthropogenic factors.

Keywords: forest fund, tree stand, undergrowth, forest undergrowth, forest type, Scotch pine (*Pinus sylvestris*), suburban forests, forest stand stability

Format of citation: Malinovskikh A.A., Gefke I.V., Savin M.A., Chichkarev A.S. Forestry and taxation characteristics of the forest fund of the Barnaul Forestry of the Altai Territory // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 104-114. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-104-114>

Введение. В улучшении экологии и качества жизни населения городов и поселков важную роль играют леса [1, 2]. Наличие промышленных предприятий и транспортных средств с большим количеством разнообразных вредных выбросов приводит к сильному загрязнению жизненной среды: воздуха, почв, вод, растительности [3-5]. Так, накопление вредных примесей в почвах приводит к нарушению их состава, структуры, снижению их плодородия, деградации, которые в свою очередь вызывают трансформацию растительного покрова [6, 7]. Не меньший вред лесным насаждениям в черте города наносит антропогенная нагрузка: вытаптывание; прокладывание троп и дорог; вырубка и повреждение деревьев, кустарников, подроста; пожары; оставление мусора и отходов; выемка лесного грунта и др. В результате такого двойного негативного воздействия лесные экосистемы утрачивают устойчивость, снижают продуктивность, способность к возобновлению и выполнению многочисленных защитных функций [8-10].

Барнаул – единственный в России город, на территории которого располагаются ленточные боры, представляющие особую ценность. В степной и лесостепной зонах Западной Сибири ленточные боры формируют экологический «каркас» для прилегающих территорий, выполняя прежде всего почвозащитные функции [11-13]. Расположение г. Барнаула и прилегающих поселков, численность населения которых составляет 700 тыс. чел., а выбросы в атмосферу ежегодно достигают 50 тыс. т, непосредственно возле ленточного бора, несомненно, оказывает негативное влияние на ландшафты ленточного бора. Для лесных насаждений Барнаульского лесничества на современном этапе эти процессы являются неизученными, отсутствуют научно обоснованные рекомендации по зонированию и ведению лесного хозяйства в пригородных лесах г. Барнаула.

Материалы и методы исследований. Объект исследований – лесной фонд Барнаульского лесничества Алтайского края. Барнаульское лесничество расположено в северо-восточной части Алтайского края на территории

Калманского и Барнаульского сельских муниципальных районов. Общая площадь земель лесного фонда составляет 26049 га, в том числе лесные земли занимают 24778 га.

Методической основой для определения лесоводственно-таксационных показателей лесных насаждений является метод экологических профилей [14]. Было подобрано и заложено 6 экологических профилей, пересекающих лесной массив Барнаульского лесничества на разном расстоянии от черты города: 0-15 км (5 профилей) – расположенные в зоне интенсивной посещаемости лесного массива; 37 км (1 профиль) – расположенные в зоне малой посещаемости (рис.).

Каждый экологический профиль состоит из примыкающих друг к другу лесных кварталов с сосновыми лесами и пересекает всю совокупность геоморфологических, лесорастительных и экологических условий на заданном расстоянии в лесном массиве. Для обработки использовались таксационные описания 32 лесных кварталов, содержащие информацию о 718 лесотаксационных выделах, общей площадью 1940,2 га, что составляет 7,4% общей площади Барнаульского лесничества. Рассчитаны средние значения всех таксационных показателей для древостоев по экологическим профилям. Выполнен сравнительный анализ лесоводственно-таксационных показателей в преобладающих типах леса по профилям: свежий бор (Свб), формирующийся в свежих (А2; II-III кл. бонитета) лесорастительных условиях и травяной бор (Трб), формирующийся во влажных (А3; I-II кл. бонитета) лесорастительных условиях [15]. Для оценки статистических различий в таксационных показателях древостоя и подроста в пригородных сосновых насаждениях использовали двухфакторный дисперсионный анализ [16, 17].

Результаты и их обсуждение. Устойчивость лесных насаждений обеспечивается комплексом лесорастительных факторов, поддержанием устойчивых связей между компонентами фитоценозов, единством внутренней среды. В пригородных лесах многолетняя рекреационная нагрузка приводит к изменению

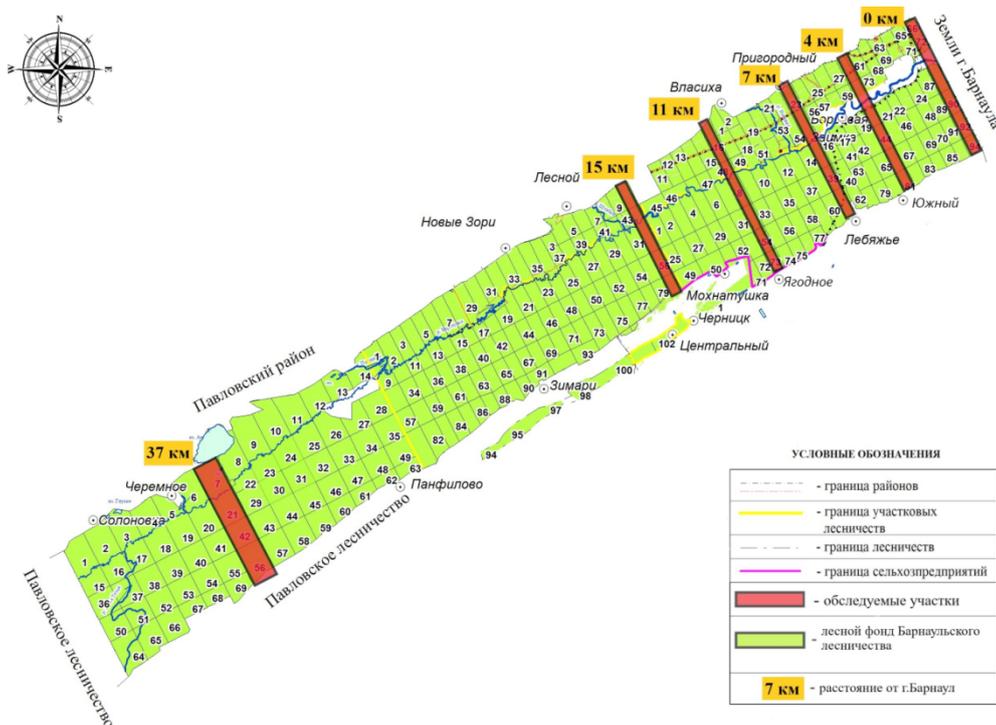


Рис. Карта-схема расположения экологических профилей в лесном массиве Барнаульского лесничества

Fig. Map-diagram of the location of ecological profiles in the forest area of the Barnaul forestry

лесной среды, состава и структуры компонентов леса, ослаблению защитных функций. Рассмотрим эти изменения на примере основных компонентов насаждений: древостоя, подроста, подлеска.

Древостой. Отдельные средние таксационные показатели, характеризующие продуктивность древостоев, имеют тенденцию зависимости от типа леса и частично зависят от черты г. Барнаула (табл. 1).

С целью выявления зависимости средних таксационных показателей древостоев сосны от типа леса и удаления от г. Барнаула был выполнен двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. В таблице 2 представлены данные по двухфакторному дисперсионному анализу зависимости среднего возраста подроста сосны от типа леса и черты города.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на средний возраст древостоя сосны ($F = 3,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на средний возраст древостоя сосны ($F = 3,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней высоты древостоя сосны представлены в таблице 3.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на среднюю высоту древостоя

сосны ($F = 6,4 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на среднюю высоту древостоя сосны ($F = 6,8 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для среднего диаметра древостоя сосны представлены в таблице 4.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на средний диаметр древостоя сосны ($F = 5,2 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на средний диаметр древостоя сосны ($F = 1,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней полноты древостоя сосны представлены в таблице 5.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на среднюю полноту древостоя сосны ($F = 40,9 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на среднюю полноту древостоя сосны ($F = 0,7 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для среднего класса бонитета древостоя сосны представлены в таблице 6.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на средний класс бонитета древостоя сосны ($F = 21,3 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на средний класс бонитета древостоя сосны ($F = 2,9 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Таблица 1. Характеристика сосновых древостоев Барнаульского лесничества Алтайского края на разном расстоянии от черты г. Барнаула ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)

Table 1. Characteristics of pine stands of the Barnaul forestry of the Altai Territory at different distances from the boundaries of the city of Barnaul ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)

Тип леса Type of forest	Занимаемая им % Area occupied, %	Средний возраст, лет Average age, years	Средняя высота, м Average height, m	Средний диаметр, см Average diameter, cm	Средняя полнота, ед. Average thickness, units	Средний класс бонитета Middle class bonitet	Средний запас на 1 га, м ³ Average stock per 1 ha, m ³
0 км							
Свб FF Fresh forest	43,7	95,1±5,0	21,1±0,6	28,1±1,6	0,69±0,02	2,52±0,09	225,2±9,6
Трб GF Grassy forest	55,3	87,8±3,8	22,6±0,7	30,3±1,3	0,58±0,01	1,92±0,08	200,8±8,13
4 км							
Свб / FF	46,4	100,1±3,5	23,5±0,5	31,7±1,3	0,68±0,02	2,25±0,09	250,3±10,8
Трб / GF	53,2	82,5±3,4	24,1±0,73	31,6±1,3	0,60±0,01	1,24±0,05	218,6±9,0
7 км							
Свб / FF	46,2	108,7±4,5	25,2±0,6	32,8±1,3	0,74±0,02	1,95±0,06	297,4±11,7
Трб / GF	53,7	97,2±3,6	26,0±0,7	35,9±1,3	0,62±0,02	1,42±0,06	253,7±10,7
11 км							
Свб / FF	53,8	106,5±2,4	25,1±0,3	32,3±0,9	0,72±0,02	2,16±0,06	281,6±8,9
Трб / GF	45,6	99,5±3,2	25,4±0,5	34,0±1,1	0,57±0,2	1,83±0,07	220,6±9,3
15 км							
Свб / FF	61,3	116,6±3,6	25,1±0,6	32,3±0,9	0,70±0,02	2,13±0,06	277,9±9,5
Трб / GF	38,5	108,1±4,3	25,5±0,7	34,3±1,4	0,60±0,02	1,95±0,11	226,2±10,9
37 км							
Свб / FF	48,4	88,2±4,1	23,5±0,7	28,5±1,3	0,79±0,02	1,86±0,07	294,0±12,9
Трб / GF	38,7	98,7±3,3	26,7±0,6	37,8±1,5	0,57±0,02	1,32±0,08	228,4±11,5

Примечание: X – среднееарифметическое значение показателя, S_x – ошибка среднееарифметического, n – число измерений.

Note: X is the arithmetic mean of the indicator, S_x is the error of the arithmetic mean, and n is the number of measurements.

Таблица 2. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего возраста древостоя сосны

Table 2. Two-factor dispersion analysis without repetition for the middle age of pine stand

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / Fresh forest	6	615,20	102,53	103,65		
Трб / Grassy forest	6	573,30	95,55	84,82		
0 км	2	182,40	91,20	30,42		
4 км	2	182,60	91,30	154,88		
7 км	2	205,90	102,95	66,13		
11 км	2	206,00	103,00	24,50		
15 км	2	224,70	112,35	36,13		
37 км	2	186,90	93,45	55,13		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	146,30	1,00	146,30	3,31	0,13	6,61
Расстояние / Distance	721,49	5,00	144,30	3,27	0,11	5,05
Погрешность / Error	220,87	5,00	44,17			
Итого / Total	1088,67	11,00				

Примечание: Для двухфакторного дисперсионного анализа приведены типовые формы таблиц и обозначений, которые выдает компьютерная программа Excel.

Note: For two-way dispersion analysis, the typical forms of tables and notations produced by the Excel computer program are given.

Таблица 3. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней высоты древостоя сосны

Table 3. Two-way dispersion analysis without repetition for mean pine stand height

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		143,50	23,92	2,55	
Трб / GF	6		150,30	25,05	2,17	
0 км	2		43,70	21,85	1,13	
4 км	2		47,60	23,80	0,18	
7 км	2		51,20	25,60	0,32	
11 км	2		50,50	25,25	0,04	
15 км	2		50,60	25,30	0,08	
37 км	2		50,20	25,10	5,12	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	3,85	1,00	3,85	6,39	0,05	6,61
Расстояние / Distance	20,57	5,00	4,11	6,82	0,03	5,05
Погрешность / Error	3,02	5,00	0,60			
Итого / Total	27,44	11,00				

Таблица 4. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для среднего диаметра древостоя сосны

Table 4. Two-way dispersion analysis without repetition for the mean diameter of a pine stand

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		185,70	30,95	4,35	
Трб / GF	6		203,90	33,98	7,52	
0 км	2		58,40	29,20	2,42	
4 км	2		63,30	31,65	0,00	
7 км	2		68,70	34,35	4,81	
11 км	2		66,30	33,15	1,45	
15 км	2		66,60	33,30	2,00	
37 км	2		66,30	33,15	43,24	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Строки / Lines	27,60	1	27,60	5,24	0,07	6,61
Столбцы / Columns	33,03	5	6,61	1,25	0,40	5,05
Погрешность / Error	26,32	5	5,26			
Итого / Total	86,95	11				

Таблица 5. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней полноты древостоя сосны

Table 5. Two-factor dispersion analysis without repetition for mean pine stand fullness

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		4,32	0,72	0,00	
Трб / GF	6		3,54	0,59	0,00	
0 км	2		1,27	0,64	0,01	
4 км	2		1,28	0,64	0,00	
7 км	2		1,36	0,68	0,01	
11 км	2		1,29	0,65	0,01	
15 км	2		1,30	0,65	0,01	
37 км	2		1,36	0,68	0,02	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	0,05	1	0,05	40,89	0,00	6,61
Расстояние / Distance	0,00	5	0,00	0,65	0,68	5,05
Погрешность / Error	0,01	5	0,00			
Итого / Total	0,06	11				

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для среднего запаса древесины на 1 га представлены в таблице 7.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на средний запас на 1 га ($F = 48,9 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города слабо влияет на средний запас на 1 га ($F = 7,2 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Подрост. Длительная антропогенная нагрузка в пригородных лесах г. Барнаула оказывает влияние на показатели естественного возобновления леса (табл. 8).

Средний возраст подраста сосны меняется в довольно широких пределах в свежем бору (10,5-15,9 лет) и в травяном бору (12,1-19,7 лет),

причем в зоне интенсивной посещаемости (0-11 км) подрост в травяном бору имеет более высокий средний возраст. Это связано, очевидно, с низкой густотой и выживаемостью подраста при вытаптывании, когда сохраняется крупный и соответственно более возрастной подрост.

Средняя высота подраста сосны заметно выше в травяном бору (1,7-2,9 м), чем в свежем (1,1-1,6 м), по причине разницы лесорастительных условий. По мере удаления от города средняя высота меняется неравномерно, что связано, очевидно, с рекреацией и влиянием полога насаждений.

Средняя густота подраста сосны выше в свежем бору (2,0-7,3 тыс. шт./га), чем в травяном (1,4-3,3 тыс. шт./га) ввиду различий в составе

Таблица 6. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего класса бонитета древостоя сосны

Table 6. Two-factor dispersion analysis without repetition for the middle class of pine stand bonitet

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting		Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion	
Свб / FF	6		12,87	2,15	0,05	
Трб / GF	6		9,68	1,61	0,10	
0 км	2		4,44	2,22	0,18	
4 км	2		3,49	1,75	0,51	
7 км	2		3,37	1,69	0,14	
11 км	2		3,99	2,00	0,05	
15 км	2		4,08	2,04	0,02	
37 км	2		3,18	1,59	0,15	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	0,85	1	0,85	21,31	0,01	6,61
Расстояние / Distance	0,59	5	0,12	2,96	0,13	5,05
Погрешность / Error	0,20	5	0,04			
Итого / Total	1,64	11				

Таблица 7. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего запаса древесины на 1 га

Table 7. Two-factor dispersion analysis without repetition for the average wood stock per 1 hectare

ИТОГИ RESULTS	Счет Counting		Сумма Sum	Среднее Average	Дисперсия Dispersion	
Свб / FF	6		1626,40	271,07	782,41	
Трб / GF	6		1348,30	224,72	296,43	
0 км	2		426,00	213,00	297,68	
4 км	2		468,90	234,45	502,45	
7 км	2		551,10	275,55	954,85	
11 км	2		502,20	251,10	1860,50	
15 км	2		504,10	252,05	1336,44	
37 км	2		522,40	261,20	2151,68	
Источник вариации Source of variations	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	6444,97	1	6444,97	48,93	0,00	6,61
Расстояние / Distance	4735,57	5	947,11	7,19	0,02	5,05
Погрешность / Error	658,63	5	131,73			
Итого / Total	11839,17	11				

Таблица 8. Средние таксационные показатели подроста сосны обыкновенной под пологом насаждений ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)Table 8. Average taxational indices of Scots pine undergrowth under the canopy of plantations ($X \pm S_x$; $n = 30-45$)

Показатель Indicator	Тип леса Type of forest	Расстояние от г. Барнаула, км / Distance from Barnaul, km					
		0	4	7	11	15	37
Средний возраст, лет Average age, years	Свб / FF	10,5±0,9	12,0±1,2	15,9±1,3	14,5±1,1	15,0±0,7	14,9±0,6
	Трб / GF	12,8±1,0	18,5±2,5	17,9±1,6	19,7±1,4	12,1±0,9	13,5±1,1
Средняя высота, М Average height, m	Свб / FF	1,1±0,2	1,3±0,2	1,2±0,2	1,6±0,2	1,5±0,1	1,1±0,1
	Трб / GF	2,4±0,5	2,9±0,6	2,5±0,3	2,2±0,2	2,1±0,3	1,7±0,1
Средняя густота, тыс. шт./га Average density, thousand pcs./ha	Свб / FF	2,0±0,2	3,1±0,3	4,5±0,2	4,2±0,3	7,3±0,5	5,6±0,3
	Трб / GF	1,5±0,4	1,4±0,3	2,5±0,2	1,6±0,2	3,3±0,3	3,1±0,3

Примечание: X – среднееарифметическое значение показателя, S_x – ошибка среднееарифметического, n – число измерений.

Note: X is the arithmetic mean of the indicator, S_x is the error of the arithmetic mean, n is the number of measurements.

Таблица 9. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений для среднего возраста подроста сосны

Table 9. Two-way dispersion analysis without repetition for the mean age of pine undergrowth

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / FF	6	82,9	13,8	4,2		
Трб / GF	6	94,6	15,8	11,1		
0 км	2	23,4	11,7	2,4		
4 км	2	30,5	15,3	21,1		
7 км	2	33,9	17,0	2,2		
11 км	2	34,2	17,1	13,5		
15 км	2	27,1	13,6	4,2		
37 км	2	28,4	14,2	1,0		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	11,4	1,0	11,4	1,7	0,3	6,6
Расстояние / Distance	43,3	5,0	8,7	1,3	0,4	5,1
Погрешность / Error	33,1	5,0	6,6	–	–	–
Итого / Total	87,8	11,0	–	–	–	–

Примечание: Для двухфакторного дисперсионного анализа приведены типовые формы таблиц и обозначений, которые выдает компьютерная программа Excel.

Note: For two-way dispersion analysis, the typical forms of tables and notations produced by the Excel computer program are given.

напочвенного покрова, подлеска и лесорастительных условий. Прослеживается тенденция увеличения средней густоты подроста главной породы в обоих типах леса по мере удаления от города.

С целью выявления зависимости средних таксационных показателей подроста сосны от типа леса и удаления от города был выполнен двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. В таблице 9 представлены данные по двухфакторному дисперсионному анализу зависимости среднего возраста подроста сосны от типа леса и черты города.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса не оказывает влияния на средний возраст подроста сосны ($F = 1,7 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние

от города не влияет на средний возраст подроста сосны ($F = 1,3 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней высоты подроста сосны представлены в таблице 10.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на среднюю высоту подроста сосны ($F = 29,4 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города не влияет на среднюю высоту подроста сосны ($F = 1,0 \leftarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для средней густоты подроста сосны представлены в таблице 11.

Выполненный дисперсионный анализ позволяет утверждать, что тип леса оказывает заметное влияние на среднюю густоту подроста

Таблица 10. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней высоты подроста сосны

Table 10. Two-way dispersion analysis without repetition for average height of pine undergrowth

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / FF	6,0	7,8	1,3	0,0		
Трб / GF	6,0	13,8	2,3	0,2		
0 км	2,0	3,5	1,8	0,8		
4 км	2,0	4,2	2,1	1,3		
7 км	2,0	3,7	1,9	0,8		
11 км	2,0	3,8	1,9	0,2		
15 км	2,0	3,6	1,8	0,2		
37 км	2,0	2,8	1,4	0,2		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	3,0	1,0	3,0	29,4	0,0	6,6
Расстояние / Distance	0,5	5,0	0,1	1,0	0,5	5,1
Погрешность / Error	0,5	5,0	0,1	–	–	–
Итого / Total	4,0	11,0	–	–	–	–

Таблица 11. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений
для средней густоты подроста сосны

Table 11. Two-factor dispersion analysis without repetition for average pine undergrowth density

ИТОГИ / RESULTS	Счет / Counting	Сумма / Sum	Среднее / Average	Дисперсия / Dispersion		
Свб / FF	6,0	26,7	4,5	3,5		
Трб / GF	6,0	13,4	2,2	0,7		
0 км	2,0	3,5	1,8	0,1		
4 км	2,0	4,5	2,3	1,4		
7 км	2,0	7,0	3,5	2,0		
11 км	2,0	5,8	2,9	3,4		
15 км	2,0	10,6	5,3	8,0		
37 км	2,0	8,7	4,4	3,1		
Источник вариации Source of variation	SS	df	MS	F	P-Значение P value	F критическое F critical
Тип леса / Forest type	14,7	1,0	14,7	22,1	0,01	6,6
Расстояние / Distance	17,6	5,0	3,5	5,3	0,05	5,1
Погрешность / Error	3,3	5,0	0,7			
Итого / Total	35,7	11,0				

сосны ($F = 22,1 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 6,6$), расстояние от города слабо влияет на среднюю густоту подроста сосны ($F = 5,3 \rightarrow F_{\text{крит.}} = 5,1$).

Встречаемость подроста на выделах варьирует в свежем бору от 65,4 до 89,5%, в травяном бору – от 15,5 до 48,4%, постепенно увеличиваясь по мере удаления от города. Тип леса и тип лесорастительных условий оказывают непосредственное влияние на среднюю высоту и густоту подроста сосны на фоне антропогенных нагрузок.

Подлесок. Подлесок – важный компонент лесного насаждения, но его состав и густота меняются под влиянием пригородной среды (табл. 12).

Наиболее развитым является подлесок в травяном бору, где его встречаемость на выделах составляет 79,8-95,9%; в свежем

бору – 10,3-70,0%. Вблизи г. Барнаула (0-11 км) в подлеске выше видовое разнообразие, густота и доля выделов, занятых кленом ясенелистным (*Acer negundo* L.), в обоих типах леса. По мере удаления (15-37 км) от города видовое разнообразие снижается, а клен не встречается в свежем бору. Всего отмечено 12 видов в составе подлеска: карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), ива козья (*Salix caprea* L.), роза иглистая (*Rosa acicularis* Lindl.) и др.

Клен ясенелистный находит свою экологическую нишу в травяном бору во влажных лесорастительных условиях. Этот вид является заносным и агрессивным по отношению к главной древесной породе (сосне обыкновенной), препятствуя естественному возобновлению леса.

Таблица 12. Характеристика подлеска в Барнаульском лесничестве Алтайского края на разном расстоянии от черты г. Барнаула

Table 12. Characteristics of the undergrowth in the Barnaul forestry of the Altai Territory at different distances from the boundaries of the city of Barnaul

Тип леса <i>Forest type</i>	Встречаемость подлеска на выделах, % <i>Occurrence of undergrowth on allotments, %</i>	Соотношение подлеска по густоте – густой/сред. густоты/редкий, % <i>The ratio of undergrowth in density is dense/medium. density/sparse, %</i>	Число видов в составе подлеска, шт. <i>Number of species in the undergrowth, pcs.</i>	Доля выделов занятых клёном ясенелистным, % <i>Share of allotments occupied by ash-leaved maple, %</i>
0 км				
Свб / FF	62,9	2,9/14,7/82,4	7	5,9
Трб / GF	95,9	49,4/40,0/10,6	10	62,4
4 км				
Свб / FF	70,0	0/0/100	6	3,6
Трб / GF	79,8	64,2/10,4/25,4	8	40,3
7 км				
Свб / FF	10,3	0/0/100	2	0
Трб / GF	87,7	73,5/10,9/15,6	8	34,4
11 км				
Свб / FF	18,0	0/0/100	3	11,1
Трб / GF	95,4	67,7/19,4/12,9	11	14,5
15 км				
Свб / FF	18,4	0/28,6/71,4	4	0
Трб / GF	92,3	88,9/11,1/0	8	38,8
37 км				
Свб / FF	11,5	0/50/50	2	0
Трб / GF	91,9	59,7/36,8/3,5	9	10,5

Выводы

1. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что средняя высота, полнота, класс бонитета и запас на 1 га в пригородных сосновых насаждениях Барнаула зависят от типа леса. По мере удаления от черты г. Барнаула из всех таксационных показателей в сосновых древостоях достоверно изменяется (увеличивается) только средний запас на 1 га.

2. С помощью дисперсионного анализа установлено, что средняя высота и средняя густота подростов сосны обыкновенной зависят от типа леса. По мере увеличения расстояния от черты города под пологом насаждений достоверно

увеличивается средняя густота подростов сосны обыкновенной.

3. Наиболее развитым является подлесок в травяном бору, где его встречаемость на выделах составляет 79,8-95,9%; в свежем бору – 10,3-70,0%. Клен ясенелистный активно внедряется в травяном бору на всех изученных участках в отличие от свежего бора, где он отмечен только в пределах трех экологических профилей.

4. Сосновые насаждения типа леса «Свежий бор» имеют более высокую структурную и позиционную устойчивость по отношению к антропогенным факторам, чем насаждения типа леса «Травяной бор».

Работа выполнена в Алтайском государственном аграрном университете в рамках гранта Российского научного фонда. Соглашение № 23-26-00198.

The work was carried out at the Altai state agrarian university within the framework of a grant from the Russian Science Foundation. Agreement No. 23-26-00198.

Список использованных источников

1. Таран И.В., Спиридонов В.Н., Беликова Н.Д. Леса города. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 196 с.
2. Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение лесных экосистем мегаполиса под влиянием рекреационного воздействия // Почвоведение. 2019. № 5. С. 633-642. DOI: 10.1134/S0032180X1905006X.
3. Kotze D., Setälä H. Urbanisation Differently Affects Decomposition Rates of Recalcitrant Woody Material and Labile Leaf Litter // Urban Ecosystems. 2021. DOI: 10.1007/s11252-021-01125-3.
4. Скрипальщикова Л.Н. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / Татаринцев В.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 179 с.
5. Воробейчик Е.Л. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов металлургического завода / Трубина М.Р., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е. // Экология. 2014. № 6. С. 448-458. DOI: 10.7868/S0367059714060158.
6. Жиров В.К. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере / Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х., Кислых Е.Е. М.: Наука, 2007. 164 с.
7. Одноралов Г.А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы) / Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А. // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». 2020. № 2 (374). 60-72.
8. Меланхолин П.Н., Лысиков А.Б. Влияние дорожно-тропиночной сети на травянистую растительность и почвы дубовых лесов Москвы и ближнего Подмосковья // Лесоведение. 2014. № 2. С. 38-45.
9. Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436-446.
10. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings // Forests. 2016. Vol. 7, No 6. P. 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>.
11. Мартынюк А.А., Ленточные боры Алтайского края – состояние и совершенствование хозяйства в них / Сидоренков В.М., Желдак В.И., Лямцев Н.И., Рябцев О.В., Жафяров А.В. // Лесохозяйственная информация. 2019. № 1. С. 3348. doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03. https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/1/LHI_2019_01-03-Martynuk.pdf.
12. Малиновских А.А. Степень развития растительного покрова в разных типах лесорастительных условий на гарях в ленточных борах Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020. № 4. С. 43-51. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51. URL: <https://les-vest.msfu.ru/contents/2020/4/pdf/43-51.pdf>
13. Malinovskikh A.A. and Gefke I.V. The influence of soil hydrothermal regime on postfire recovery process in the ribbon-like pine forests of Western Siberia To cite this article: 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848012129. :10.1088/1755-1315/848/1/012129.
14. Юнатов А.А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // В кн.: Полевая геоботаника. Т. 3. М. – Л.: Наука, 1964. С. 9-36.

References

1. Taran I.V., Spiridonov V.N., Belikova N.D. Forests of the city. Novosibirsk, publishing house of the SB RAS, 2004. 196 p.
2. Kuznetsov V.A., Ryzhova I.M., Stoma G.V. Changes in forest ecosystems of a megalopolis under the influence of recreational influence // Soil science. 2019. No. 5. P. 633-642. doi: 10.1134/S0032180X1905006X
3. Kotze D., Setälä H. Urbanisation Differently Affects Decomposition Rates of Recalcitrant Woody Material and Labile Leaf Litter // Urban Ecosystems. 2021. doi: 10.1007/s11252-021-01125-3
4. Skripalshchikova L.N. Ecological state of suburban forests of Krasnoyarsk / Tatarintsev V.I., Zubareva O.N., Perevznikova V.D., Stasova V.V., Greshilova N.V. Novosibirsk: Acad. Publishing house "Geo", 2009. 179 p.
5. Vorobeychik E.L., Trubina M.R., Khantemirova E.V., Bergman I.E. Long-term dynamics of forest vegetation during the reduction of emissions from a copper smelter // Ecology. 2014. No. 6. P. 448-458. DOI: 10.7868/S0367059714060158
6. Zhiron V.K., Golubeva E.I., Govorova A.F., Khaibbaev A.H., Kislykh E.E. Structural and functional changes of vegetation in conditions of technogenic pollution in the Far North. M.: Nauka, 2007. 164 p.
7. Odnoralov G.A., Tikhonova E.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. Assessment of biological productivity of the forest environment in the conditions of urbanization (on the example of the Voronezh upland oak grove) // Izvestiya vysshchih uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2020. No 2 (374). 60-72.
8. Melancholin P.N., Lysikov A.B. The influence of the road and path network on the grassy vegetation and soils of the oak forests of Moscow and the near Moscow region. Forest science. 2014. No. 2. P. 38-45.
9. Shikhova N.S. Comprehensive assessment of the state of forests in the green zone of Vladivostok // Forest science. 2015. No. 6. P. 436-446.
10. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings // Forests. 2016. Vol. 7, No 6, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
11. Martynuk A.A., Sidorenkov V.M., Zheldak V.I., Lyamtsev N.I., Ryabtsev O.V., Zhafyarov A.V. Ribbon forests of the Altai Territory – the state and improvement of the economy in them // Lesokhoz. inform. 2019. No. 1. p. 3348. doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03 https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/1/LHI_2019_01-03-Martynuk.pdf
12. Malinovskikh A.A. The degree of vegetation cover development in different types of forest vegetation conditions in burning areas in ribbon forests of the Altai Territory // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. 2020. No. 4. P. 43-51. doi: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51 <https://les-vest.msfu.ru/contents/2020/4/pdf/43-51.pdf>
13. Malinovskikh A.A. and Gefke I.V. The influence of soil hydrothermal regime on postfire recovery process in the ribbon-like pine forests of Western Siberia To cite this article: 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848012129. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012129.
14. Yunatov A.A. Types and content of geobotanical research. Selection of trial areas and laying of ecological profiles / In the book. Field geobotany. Vol. 3. M. – L.: Nauka, 1964. P. 9-36.

15. Бугаев В.А., Косарев Н.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края: Барнаул: Алтайское книжное изд-во, 1988. 312 с.

16. Методы изучения лесных сообществ: монография / Отв. ред. В.Т. Ярмишко, И.В. Лянгузова. СПб., 1997. 240 с.

17. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.

Об авторах

Алексей Анатольевич Малиновских, канд. биол. наук, доцент; (0000-0003-1719-3841); SPIN-код: 7353-8961; almaa1976@yandex.ru

Ирина Валентиновна Гефке, канд. с.-х. наук, доцент; (0000-0002-0804-015X); SPIN-код: 6256-9640; ivgefke@mail.ru

Михаил Андреевич Савин, старший преподаватель; (0000-0001-7196-418X); SPIN-код: 2593-6310; mihasavin@mail.ru

Александр Сергеевич Чичкарев, ассистент; (0000-0001-6292-3247); SPIN-код: 4495-9193; chichkarev94@mail.ru

15. Bugaev V.A., Kosarev N.G. Forestry of ribbon forests of the Altai Territory. Barnaul: Alt. book Publishing House, 1988. 312 p.

16. Methods of studying forest communities: monograph / Edited by V.T. Yarmishko, I.V. Lyanguzova. St. Petersburg, 1997. 240 p.

17. Schmidt V.M. Mathematical methods in botany: textbook. L.: Publishing House of LSU, 1984. 288 p.

Author information

Aleksey A. Malinovskikh, candidate of biological sciences, associate professor, (0000-0003-1719-3841) SPIN-code: 7353-8961; almaa1976@yandex.ru

Irina V. Gefke, candidate of agricultural sciences, associate professor, (0000-0002-0804-015X) SPIN-code: 6256-9640; ivgefke@mail.ru

Mikhail A. Savin, senior lecturer, (0000-0001-7196-418X) SPIN-code: 2593-6310; mihasavin@mail.ru

Aleksandr S. Chichkarev, assistant, (0000-0001-6292-3247) SPIN-code: 4495-9193; chichkarev94@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Малиновских А.А., Гефке И.В., Савин М.А., Чичкарев А.С. 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 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 21.03.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review vised 18.10.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.10.2023

Malinovskikh A.A., Gefke I.V., Savin M.A., Chichkarev A.S. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-115-121>

УДК 630*.232.31.9



ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ДВУЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ КЕДРА КОРЕЙСКОГО (*PINUS KORAIENSIS* SIEBOLD ET ZUCC.)

В.Ю. Острошенко^{1✉}, Л.Ю. Острошенко²

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 690022, г. Владивосток, пр-кт 100-летия Владивостока, 159, Россия

²Приморский государственный аграрно-технологический университет; 692510, г. Уссурийск, пр-кт Блюхера, 44, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучить влияние корневой подкормки препаратами Эпин-Экстра, Циркон, Крезацин на морфометрические показатели (высоту стволиков, диаметр корневой шейки, длину корней и сухую массу) двулетних сеянцев кедра корейского в условиях Приморского края. Объект исследований представлен двулетними сеянцами кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), выращенными в условиях лесного питомника в ГТС (Горнотаежной станции) – филиале ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН Приморского края. Изучено влияние стимуляторов Циркон, Крезацин, Эпин-Экстра на биометрические показатели сеянцев. Стимуляторы использованы в виде корневой подкормки в разных концентрациях растворов. Оценены высота стволиков и длина корней, диаметр корневой шейки, а также сухая масса. Выявлено, что применение подкормки в виде отмеченных стимуляторов при концентрации растворов 0,01% обеспечивает лучшее нарастание надземной части кедра корейского. Отмечено, что активизируется развитие корней. Установлено, что в период исследования высота находилась на уровне от 8,1 до 12,9 см, диаметр шейки корня составлял от 3 до 3,5 мм, длина корней – от 10,8 до 14,2 см, сухая масса – от 1,1 до 1,62 г. Обнаружено повышение показателей (в сравнении с образцами контрольной группы), соответственно, на 28,6-104,8; 30,1-71,1; 11,1-29,6 и 57,1-131,4%. Согласно действующим Правилам лесовосстановления (приказ Минприроды России от 4 декабря 2020 г. № 1014) сеянцы кедра корейского в условиях Дальнего Востока достигают стандартных размеров через 2-3 года. В наших опытах сеянцы, обработанные стимулятором роста Циркон, подкормленные раствором концентрации 0,01%, достигли возраста качественности посадочного материал через 2 года.

Ключевые слова: стимуляторы роста, Эпин-Экстра, Крезацин, Циркон, корневая подкормка препаратами, сеянцы, биометрические показатели

Формат цитирования: Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Влияние стимуляторов на рост и развитие двулетних сеянцев кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) // Природообустройство. 2024. № 1. С. 115-121. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-115-121>

Original article

INFLUENCE OF STIMULANTS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF BIENNIAL SEEDLINGS OF KOREAN PINE (*PINUS KORAIENSIS* SIEBOLD ET ZUCC.)

V.Yu. Ostroshenko^{1✉}, L.Yu. Ostroshenko²

¹Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; 690022, Vladivostok, 100th Anniversary of Vladivostok Ave., 159, Russia

²State Agrarian-Technological University; 692510, Ussuriysk, Blucher Ave., 44, Russia

Abstract. The object of research is represented by biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), grown in a forest nursery in the GTS (Mountain Taiga Station) – a branch of the Federal Scientific Center for Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences of Primorsky Krai. The influence of stimulants Zircon, Krezacin, Epin-Extra on the biometric parameters of seedlings was studied. Stimulants are used in the form of root dressing in different concentrations of solutions. The height of the trunks and the length of the roots, the diameter of the root collar, as well as the dry mass are estimated. It was revealed that the use of top dressing in the form of the noted stimulants at a solution concentration of 0.01% provides a better increase in the aerial part of Korean pine. It is also noted that the development of roots is activated. It was found

that during the study period, the height was at the level of 8.1 to 12.9 cm, the diameter of the root neck was from 3 to 3.5 mm, the length of the roots was from 10.8 to 14.2 cm, the dry weight was from 1.1 to 1.62 g. An increase in indicators was found (in comparison with the samples of the control group), respectively, by 28.6-104.8; 30.1-71.1; 11.1-29.6 and 57.1-131.4%. According to the current Rules for Reforestation (Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 04, 2020 No. 1014 "On Approval of the Rules for Reforestation, the Composition of the Reforestation Project, the Procedure for Developing a Reforestation Project and Making Changes to It"; hereinafter referred to as the Reforestation Rules), Korean pine seedlings in the Far East reach standard sizes in 2-3 years. In our experiments, seedlings treated with the growth stimulator Zircon, fed with a solution concentration of 0.01%, reached the age of planting material quality after 2 years.

Keywords: growth stimulants, Epin-Extra, Krezacin, Zircon, root dressing, seedlings, biometric indicators

Format of citation: Ostroshenko V.Y., Ostroshenko L.Y. Influence of stimulants on the growth development of biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 115-121. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-115-121>

Введение. Дальневосточные кедрово-широколиственные леса являются уникальной, сложной по возрастной структуре лесной формацией, которая часто рассматривается в качестве нестандартной по критериям «Растительный состав», «Структура и развитие лесных насаждений». Основная порода в данном типе леса – кедр корейский или же сосна кедровая корейская (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.). Раньше леса подобного типа встречались часто только в южной части современного Дальневосточного федерального округа. С 50-х гг. XX в. до начала XXI в. в зонах их произрастания на отмеченную породу приходилась примерно половина совокупного уровня лесозаготовок. В настоящее время в Приморском крае кедр корейский произрастает на площади 1948,6 тыс. га [1].

В соответствии с приказом Рослесхоза от 5 декабря 2011 г. № 513 кедр отнесен к видам, заготовка которых запрещена [2]. Несмотря на это, в связи с лесными пожарами и незаконной рубкой его запасы сегодня являются ограниченными.

Решение отмеченной проблемы в виде дефицита заготовок кедра корейского возможно посредством использования специальных стимулирующих добавок с веществами, обеспечивающими развитие растений. Внедрение этой практики в существующую технологию – целесообразный шаг. Опыт применения стимуляторов в ряде хозяйств Сибири, Дальнего Востока и Европейской части РФ позволяет утверждать, что стимуляторы обеспечивают максимально благоприятные условия для прорастания семян. При этом значительно повышаются показатели всхожести, улучшается прирост, отмечается увеличение сохранныости и приживаемости растений [3-9].

Цель исследований: изучить влияние корневой подкормки препаратами Эпин-Экстра, Циркон, Крезацин на морфометрические

показатели (высоту стволиков, диаметр корневой шейки, длину корней и сухую массу) двухлетних сеянцев кедра корейского в условиях Приморского края.

Материалы и методы исследований. В рамках опытов применялись стимуляторы как синтетического (Крезацин, Эпин-Экстра), так и природного (Циркон) происхождения.

Крезацин – это синтетический фитогормон (биогенный амин), аналог содержащихся в растениях низкомолекулярных органических веществ, вырабатываемых ими и выполняющих регуляторные функции. Для препарата характерен широкий спектр биологической активности: он обеспечивает стимуляцию роста, а также жизнедеятельность полезных микроорганизмов; регулирует рост растений; является средством для замачивания семян перед посевом; активно применяется для обработки плодовых, овощных, цветочных и иных культур (например, декоративных). Крезацин стимулирует развитие корней, повышает показатели прироста растений. Он существенно ускоряет созревание (период плодоношения наступает раньше на 8 дней в среднем), повышает фактическую урожайность (от 15 до 40% в сравнении с традиционной технологией), а также устойчивость растений к заморозкам и болезням [10].

Эпин-Экстра – регулятор широкого спектра действия и адаптоген, обладающий выраженным антистрессовым воздействием, представляющий собой синтетический аналог природного вещества. Регулятор стимулирует развитие растений, используется в качестве стимулятора корнеобразования, а также плодоношения. Показано его использование для омоложения слабых растений. Эпин-Экстра активно применяется практикующими цветоводами. Дополнительный его полезный эффект – повышение фактической

устойчивости к вредителям и к ряду губительных болезней. Результатами использования Эпина-Экстра являются: быстрое прорастание семян; устойчивость рассады к засухе, морозам и болезням; возрождение увядших и подмерзших растений; омоложение старых кустарников и их плодоношение; предотвращение ожогов растений; повышение урожайности; выведение из растений гербицидов, радионуклидов, а также солей тяжелых металлов; снижение состава нитратов. Стимулятор является абсолютно нетоксичным для человека и животных, относится к IV классу опасности [10].

Циркон – смесь производных кофейной кислоты: кафтаровой, хлорогеновой, феруловой и др. Он позволяет регулировать развитие и цветение растений, процесс образования корней. Дополнительно Циркон повышает устойчивость к вредителям и к ряду губительных болезней. Для его изготовления используются растительные компоненты. Стимулятор обеспечивает на практике повышение показателей всхожести. Улучшается прорастание, усиливается развитие растений. Они становятся полностью окрепшими на 7 дней раньше. При этом Циркон увеличивает урожайность на 35-60%. Дополнительно препарат:

- стимулирует корнеобразование, улучшает способность растений плодоносить;
- обеспечивает защиту от засухи, заморозков, дефицита света и повышенной влажности;
- ускоряет цветение;
- увеличивает выход продукции.

Применение Циркона на практике приводит к снижению степени поражения множеством известных болезней типа бактериоза, серой гнили и др. Опытным путем установлено, что препарат не является опасным для человека и животных, не причиняет вреда полезным насекомым. Класс опасности – IV. Накопление в почве исключено. Его использование не приводит к загрязнению грунтовых вод. Подавление развития растений возможно только при условии чрезмерной концентрации Циркона в используемом растворе [10].

Исследования выполнены в питомнике ГТС – филиале ФНИЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. Климат территории муссонный. Распределение атмосферных осадков неравномерно. Наибольшее их количество выпадает в летний период, когда наблюдаются проливные дожди. Влажность воздуха достигает в летнее время года наибольших значений, в весеннее время – наименьших. Почва бурая, подзолистая, тяжелосуглинистая, с постепенным переходом в пониженной части пологого склона в лугово-бурную почву. Рельеф – с минимальным уклоном.

Стратифицированные семена кедр корейского первого класса качества высевали в трех повторностях (по 100 шт.) в гряды питомника.

На протяжении двух лет роста сеянцев, в период начала их интенсивного роста по высоте, их подкармливали растворами препаратов Циркон, Крезацин, а также Эпин-Экстра. Корневая подкормка осуществлялась в сухую погоду, в вечернее время. Концентрация растворов стимуляторов составляла 0,01 и 0,001%.

В качестве контроля выступали сеянцы, которые не обрабатывались растворами стимуляторов роста.

Сеянцы двукратно подвергались уходу. Соответствующие мероприятия были представлены прополкой и ручным рыхлением почвы. В период вегетации оценивались показатели развития сеянцев, определялись наиболее результативные стимуляторы. Анализировалась концентрация, выявлялись эффективные стимуляторы.

На второй год развития в конце периода вегетации в отношении всех сеянцев, обработанных отмеченными препаратами, реализованы дополнительные мероприятия. Для контроля и анализа отобрано по 25 сеянцев для определения высоты. Было отобрано по 3 модельных растения. Они подвергались выкапыванию с целью замеров длины корней. Дополнительно измерялись диаметры шеек корня.

Сеянцы подсушивались для определения их сухой массы. После этого все материалы были проанализированы и обработаны статистически с использованием программной среды Microsoft Excel. Осуществлена оценка по вариантам опытов, произведено сравнение с данными, полученными на контроле. Это требовалось для установления наиболее эффективного препарата и концентрации его раствора.

Результаты и их обсуждение. В период выполнения исследований погодные условия не выходили за рамки среднегодовых значений.

Корневая подкормка сеянцев кедр корейского активизировала нарастание их биометрических показателей. Превышение в показателях роста по высоте по отношению к контролю находилось в пределах от 4,8 (Крезацин) до 104,8% (Циркон). Наиболее активная реакция у сеянцев отмечена при подкормке Цирконом.

При подкормке Эпином-Экстра и Цирконом существенность различий колебалась в пределах 3,0-16,5. У сеянцев, подкормленных Крезацином, превышение по отношению к контролю оказалось существенным при подкормке концентрацией 0,01%. Установлено, что концентрация на уровне 0,001% не является эффективной. Существенность отличий составила 1,3 (табл. 1).

Одновременно с эффективностью роста по высоте активизировались показатели прироста по длине корней.

Наиболее эффективное влияние на корнеобразование семян оказал Циркон концентрацией раствора 0,01%, при которой средняя длина корня модельного семени составила 14,2 см, превысив контроль на 71,1% (табл. 2).

При подкормке стимулятором Эпином-Экстра средняя длина корня находилась в пределах 9,6-11,4 см. Превышение к контрольной группе составляло 15,7-37,3%.

Наблюдались и взаимосвязь в росте корневой системы семян по нарастанию диаметра шейки корня (табл. 3). Максимальные значения данного таксационного показателя колебались в пределах 2,9-3,9 см, а минимальные не были ниже 2,4 см.

У семян, подкормленных растворами стимуляторов Эпина-Экстра и Циркона концентрацией 0,01%, средние показатели достигали 3,4-3,5 мм и превышали контроль на 25,9-29,6%.

Подкормка Эпином-Экстра и Цирконом более низкой концентрации раствора не повлияла на рост семян по диаметру шейки корня.

Стимуляторы роста положительно влияют не только на нарастание линейных показателей семян, но и на их общую массу.

Более положительный эффект на увеличение массы семян оказали препараты Эпин-Экстра, Циркон и Крезацин концентрацией 0,01%. Превышение к показателям на контроле составило 57,1-131,4% (табл. 4).

При снижении концентрации растворов указанных препаратов до 0,001% средние величины превышали контроль на 7,1-32,9% соответственно.

Таблица 1. Влияние стимуляторов на высоту двулетних семян кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Table 1. Influence of stimulants on the height of biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Варианты опытов <i>Variants of experiments</i>	Высота, М ± m, см <i>Height, M ± m, cm</i>	Коэффициент вариации (С), % <i>Coefficient of variation (C), %</i>	Точность опыта (Р), % <i>Accuracy of experiment (P), %</i>	Существенность различий (Т) <i>Significance of differences (T)</i>
Контроль / <i>Control</i>	6,3 ± 0,1	10,1	2,0	-
Эпин-Экстра 0,01% / <i>Epin-Extra 0.01%</i>	11,2 ± 0,4	17,8	3,6	11,6
% к контролю / <i>% to control</i>	+ 77,8	-	-	-
Эпин-Экстра 0,001% / <i>Epin-Extra 0.001%</i>	7,5 ± 0,4	24,4	4,9	3,0
% к контролю / <i>% to control</i>	+ 19,0	-	-	-
Циркон 0,01% / <i>Zircon 0.01%</i>	12,9 ± 0,4	14,2	2,8	16,5
% к контролю / <i>% to control</i>	+ 104,8	-	-	-
Циркон 0,001% / <i>Zircon 0.001%</i>	7,9 ± 0,2	12,8	2,6	6,5
% к контролю / <i>% to control</i>	+ 25,4	-	-	-
Крезацин 0,01% / <i>Krezacin 0.01%</i>	8,1 ± 0,2	12,9	2,6	7,3
% к контролю / <i>% to control</i>	+ 28,6	-	-	-
Крезацин 0,001% / <i>Krezacin 0.001%</i>	6,6 ± 0,1	11,0	2,2	1,3
% к контролю / <i>% to control</i>	+ 4,8	-	-	-

Таблица 2. Влияние стимуляторов на длину корней двулетних семян кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Table 2. Influence of stimulants on the length of the roots of biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Препарат / концентрация <i>Drug / Concentration</i>	Показатели длины корня / <i>Root length indicators</i>		
	в трехкратной повторности, см <i>in triple repetition, cm</i>	средняя величина, см <i>average value, cm</i>	отношение к контролю, % <i>relation to control, %</i>
Контроль / <i>Control</i>	8,2; 8,9; 7,8	8,3	-
Эпин-Экстра 0,01% / <i>Epin-Extra 0.01%</i>	11,3; 12,1; 10,9	11,4	+ 37,3
Эпин-Экстра 0,001% / <i>Epin-Extra 0.001%</i>	10,1; 9,2; 9,5	9,6	+ 15,7
Циркон 0,01% / <i>Zircon 0.01%</i>	15,2; 14,6; 12,8	14,2	+ 71,1
Циркон 0,001% / <i>Zircon 0.001%</i>	10,8; 9,3; 11,2	10,4	+ 25,3
Крезацин 0,01% / <i>Krezacin 0.01%</i>	10,2; 11,1; 11,0	10,8	+ 30,1
Крезацин 0,001% / <i>Krezacin 0.001%</i>	10,5; 9,1; 7,9	9,2	+ 10,8

Таблица 3. Влияние стимуляторов на диаметр шейки корня у двулетних сеянцев кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Table 3. Influence of stimulants on the diameter of the root neck in biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Варианты опытов <i>Variants of experiments</i>	Диаметр корневой шейки, мм / <i>Diameter of the root neck, mm</i>			
	max	min	Ср / <i>medium</i>	отношение к контролю, % <i>relation to control, %</i>
Контроль / <i>Control</i>	3,0	2,4	2,7	
Эпин-Экстра 0,01% / <i>Epin-Extra 0.01%</i>	3,7	2,9	3,4	+ 25,9
Эпин-Экстра 0,001% / <i>Epin-Extra 0.001%</i>	2,9	2,5	2,7	-
Циркон 0,01% / <i>Zircon 0.01%</i>	3,9	2,9	3,5	+ 29,6
Циркон 0,001% / <i>Zircon 0.001%</i>	3,0	2,4	2,7	-
Крезацин 0,01% / <i>Krezacin 0.01%</i>	3,5	2,6	3,0	+11,1
Крезацин 0,001% / <i>Krezacin 0.001%</i>	3,1	2,5	2,7	-

Таблица 4. Влияние стимуляторов на сухую массу у двулетних сеянцев кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Table 4. Influence of stimulants on dry weight in biennial seedlings of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.)

Варианты опытов <i>Variants of experiments</i>	Сухая масса сеянцев, г. / <i>Dry weight of seedlings, g.</i>				
	корневая система <i>root system</i>	стволовик <i>trunk</i>	хвоя <i>needles</i>	итого <i>total</i>	отношение к контролю, % <i>relation to control, %</i>
Контроль / <i>Control</i>	0,39	0,22	0,21	0,82	
	0,26	0,16	0,17	0,59	
	0,31	0,19	0,19	0,69	
среднее / <i>average</i>	0,32	0,19	0,19	0,70	
Эпин-Экстра 0,01% <i>Epin-Extra 0.01%</i>	0,52	0,26	0,49	1,27	
	0,48	0,19	0,41	1,08	
	0,39	0,23	0,32	0,94	
среднее / <i>average</i>	0,46	0,23	0,41	1,10	+ 57,1
Эпин-Экстра 0,001% <i>Epin-Extra 0.001%</i>	0,28	0,17	0,16	0,61	
	0,32	0,24	0,21	0,77	
	0,39	0,29	0,18	0,86	
среднее / <i>average</i>	0,33	0,23	0,18	0,75	+ 7,1
Циркон 0,01% <i>Zircon 0.01%</i>	0,58	0,38	0,73	1,69	
	0,49	0,29	0,57	1,35	
	0,68	0,39	0,76	1,83	
среднее / <i>average</i>	0,58	0,35	0,69	1,62	+ 131,4
Циркон 0,001% <i>Zircon 0.001%</i>	0,49	0,24	0,28	1,01	
	0,30	0,22	0,32	0,84	
	0,38	0,28	0,26	0,92	
среднее / <i>average</i>	0,39	0,25	0,29	0,93	+ 32,9
Крезацин 0,01% <i>Krezacin 0.01%</i>	0,21	0,28	0,34	0,83	
	0,56	0,39	0,29	1,24	
	0,52	0,48	0,41	1,41	
среднее / <i>average</i>	0,43	0,38	0,35	1,16	+ 65,7
Крезацин 0,001% <i>Krezacin 0.01%</i>	0,38	0,24	0,33	0,95	
	0,36	0,21	0,28	0,85	
	0,38	0,27	0,26	0,91	
среднее / <i>average</i>	0,37	0,24	0,29	0,90	+ 28,6

Выводы

Обработка двулетних сеянцев кедр корейского растворами стимуляторов Циркон, Эпин-Экстра и Крезацин в примененных концентрациях способствует активному нарастанию надземной части и корневой системы сеянцев, что сокращает затраты и сроки выращивания посадочного материала. Установлено, что более эффективной является концентрация 0,01% растворов препаратов.

«Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012200183-8).»

Список использованных источников

1. Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Приморского края. Официальный сайт Администрации Приморского края и органов исполнительной власти Приморского края. Режим доступа: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/de-partments/forestry/informa-tsiya-po-forme-otkrytykh-dannykh.php> (дата обращения: 20.01.2023).
2. Перечень видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается: Приказ Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) от 5 декабря 2011 г. № 513. 2012. Режим доступа: <https://base.garant.ru/70130722> (дата обращения: 20.01.2023).
3. **Ларионова Н.А.** Применение гормональных веществ для улучшения качества семян и роста сеянцев хвойных пород в Красноярском крае // Лесное хозяйство. 1997. № 6. С. 28-30.
4. **Лисенков А.Ф.** Предпосевная обработка листовенницы сибирской // Лиственница: Сборник статей. 1962. Вып. 24. С. 92-100.
5. **Острошенко В.В., Ватулич Д.С.** Применение стимулятора роста альбит при выращивании сеянцев кедр корейского // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 144-147.
6. **Пентелькин С.К.** Применение Агата-25К в лесном хозяйстве // Лесное хозяйство. 2001. № 2. С. 41-43.
7. **Пентелькина Н.В.** Экологически чистые технологии на основе использования стимуляторов роста // Экология, наука, образование, воспитание: Сборник научных трудов. Брянск: БГИТА, 2002. Вып. 3. С. 69-71.
8. **Пентелькина Н.В., Пентелькина Ю.С.** Циркон – в технологии выращивания хвойных интродуцентов // Лесной комплекс: Состояние и перспективы развития: Сборник научных трудов. Брянск: БГИТА, 2002. Вып. 4. С. 73-76.
9. **Чилимов А.И., Пентелькин С.К.** Проблемы использования стимуляторов роста в лесном хозяйстве // Лесное хозяйство. 1995. № 6. С. 11-12.
10. Справочник пестицидов 2022. Электронный ресурс. URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (дата обращения: 01. 11. 2022).

Согласно действующим Правилам лесовосстановления сеянцы кедр корейского в условиях Дальнего Востока достигают стандартных размеров через 2-3 года. В наших опытах сеянцы, обработанные стимулятором роста Циркон, подкормленные раствором концентрацией 0,01%, достигли возраста качества посадочного материал через 2 года.

«The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 124012200183-8).»

References

1. Ministry of forestry and wildlife protection of Primorsky Krai. Official website of the Administration of Primorsky Krai and executive authorities of Primorsky Krai. Available at: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/de-partments/forestry/informa-tsiya-po-forme-otkrytykh-dannykh.php> [Accessed: 20.01.2023].
2. List of types (species) of trees and shrubs, the harvesting of which is not allowed. Order of the Federal forestry agency (Rosleskhoz) dated December 5, 2011 No. 513. 2012. Available at: <https://base.garant.ru/70130722> [Accessed: 20.01.2023].
3. **Larionova N.A.** The use of hormonal substances to improve the quality of seeds and the growth of seedlings of coniferous species in the Krasnoyarsk region. // Forestry. 1997. № 6. P. 28-30.
4. **Lisenkov A.F.** Pre-sowing treatment of Siberian larch // Larch: collection of articles. 1962. Vyp. 24, P. 92-100.
5. **Ostroshenko V.V., Vatulich D.S.** Application of albit growth stimulator in growing Korean Pine seedlings // Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2014. № 3. P. 144-147.
6. **Pentelkin S.K.** Application of Agata-25K in forestry. // Forestry. 2001. № 2. P. 41-43.
7. **Pentelkina N.V.** Ecologically clean technologies based on the use of growth stimulators. Ecology, science, education: collection of scientific works.r. Bryansk: BGITA, // Forestry. 2002. Vol. 3, P. 69-71.
8. **Pentelkina N.V., Pentelkina Yu.S.** Zircon – in the technology of growing coniferous introductions // Forest complex: State and prospects of development: collection of scientific works. Bryansk: BGITA, 2002. Vol. 4, P. 73-76.
9. **Chilimov A.I., Pentelkin S.K.** Problems of using growth stimulators in forestry. 1995. № 6. P. 11-12.
10. Pesticide handbook 2022. [Electronic resource]. URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (accessed: 01. 11. 2022).

Об авторах

Валентина Юрьевна Острошенко, канд. с.-х. наук, младший научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-1970-9293; Scopus: 57188722132; ПИНЦ ID: 790945; WOS Researcher ID: AAI-8395-2020; OstroshenkoV@mail.ru

Людмила Юрьевна Острошенко, канд. биол. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-5379-556X; Scopus: 57188728263; ПИНЦ ID: 731567; WOS Researcher ID: CAH-1621-2022; OstroshenkoV@mail.ru

Author information

Valentina Yu. Ostroshenko, candidate of agricultural sciences, junior researcher; ORCID: 0000-0002-1970-9293; Scopus: 57188722132; ПИНЦ ID: 790945; WOS Researcher ID: AAI-8395-2020; OstroshenkoV@mail.ru

Lyudmila Yu. Ostroshenko, candidate of biological sciences, associate professor; ORCID: 0000-0002-5379-556X; Scopus: 57188728263; ПИНЦ ID: 731567; WOS Researcher ID: CAH-1621-2022; OstroshenkoV@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors state that there no conflicts of interests

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 13.07.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.12.2023

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-122-129>

УДК 630.24:581.1



ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВОГО УДОБРЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ГИБРИДОВ *ULMUS PUMILA* L.

А.С. Соломенцева , С.Н. Крючков, С.А. Егоров

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук; 400062, г. Волгоград, пр-кт Университетский, 97, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучение роста и развития сеянцев вяза приземистого под влиянием препарата «Биофулен торфогель». Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.) обладает повышенной устойчивостью к засухе, декоративностью и защитными свойствами. В ходе опыта авторами испытывалось гуминовое удобрение-биостимулятор роста «Биофулен торфогель», которое в своем составе содержит азот, фосфор, калий, гуминовые и фульвовые кислоты, обеспечивающие растение всеми необходимыми элементами питания в период активного роста. Выявлено, что «Биофулен торфогель» оказывает положительное влияние на сеянцы вяза приземистого, увеличивая их биометрические параметры в сравнении с контролем в несколько раз. Погодные условия 2020 и 2022 гг. были более мягкими, в результате чего вес корня и листы исследуемых растений под влиянием препарата оказались выше, чем в 2021 г. Установлено, что регулирование времени замачивания семян в препарате «Биофулен» позволяет получить сеянцы вяза различного размера. Дополнительная обработка листьев биостимулятором роста позволяет увеличить фитомассу, что в свою очередь ускоряет процессы фотосинтеза, увеличивает содержание хлорофиллов и размеры кроны дерева. Установленные по фазам роста и развития растения нормы орошения дополняют действие гуминового удобрения и позволяют обеспечить работы по агролесомелиоративному обустройству засушливого региона посевным и посадочным материалом необходимого ассортимента долговечных быстрорастущих, засухо- и солеустойчивых древесных видов и форм. Ускоренное выращивание посадочного материала в свою очередь обеспечит стабилизацию и улучшение экологической обстановки в Волгоградской области, испытывающей губительное воздействие суховея, засух, пыльных бурь и водной эрозии. Стимулирование роста растений позволит отобрать и размножить ценный генофонд основных лесобразующих пород засушливой зоны.

Ключевые слова: вяз приземистый, *Ulmus pumila*, рост, развитие, гуминовые удобрения

Формат цитирования: Соломенцева А.С., Крючков С.Н., Егоров С.А. Влияние гуминового удобрения на рост и развитие гибридов *Ulmus pumila* L. // Природообустройство. 2024. № 1. С. 122-129. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-122-129>

Original article

EFFECT OF HUMIC FERTILIZER ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF *ULMUS PUMILA* L. HYBRIDS

A.S. Solomentseva , S.N. Kryuchkov, S.A. Egorov

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, Universitetsky avenue, 97, Russian Federation

Abstract. In arid regions, forest strips are one of the most important natural resources. The use of modern preparations that improve the growth and development of plants will allow the most complete and effective cultivation of planting material and meet the need for various types of forest products. Squat elm (*Ulmus pumila* L.) has increased resistance to drought, decorative and protective properties. During the experiment, the authors tested a humic fertilizer-a growth biostimulator “Biofulen torfogel”, which contains nitrogen, phosphorus, potassium, humic and fulvic acids, which provide the plant with all the necessary nutrients during active growth. It was revealed that Biofulen torfogel has a positive effect on seedlings of squat elm, increasing their biometric parameters several times in comparison with the control. Weather conditions in 2020 and 2022 were milder, as a result of which the weight of the root and foliage of the studied plants under the waggging of the drug turned out to be higher than in 2021. It is established that the regulation of the time of soaking seeds in the preparation “Biofulen” allows you to get elm seedlings of various sizes. Additional treatment of leaves with a biostimulator

of growth allows increasing the phytomass, which, in turn, accelerates the processes of photosynthesis, increases the content of chlorophylls and the size of the crown of the tree. Irrigation norms established according to the phases of plant growth and development complement the effect of humic fertilizer and make it possible to provide work on agroforestry development of arid region with seed and planting material of the necessary assortment of long-lasting fast-growing, drought- and salt-resistant tree species and forms. Accelerated cultivation of planting material, in turn, will ensure stabilization and improvement of the ecological situation in the Volgograd region, which is experiencing the disastrous effects of dry winds, droughts, dust storms and water erosion. Stimulating plant growth will allow you to select and propagate the valuable gene pool of the main forest-forming species of the arid zone.

Keywords: squat elm, *Ulmus pumila*, growth, development, humic fertilizers

Format of citation: Solomentseva A.S., Kryuchkov S.N., Egorov S.A. Effect of humic fertilizer on the growth and development of *Ulmus pumila* L. hybrids // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 122-129. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-122-129>

Введение. В условиях опустынивания необходим тщательный подбор высокорослых, долговечных и устойчивых к неблагоприятным условиям окружающей среды форм с целью их последующего размножения [1-4]. Для создания лесных полос в засушливом регионе требуется достаточно большое количество посадочного материала. Для успешного обеспечения им питомников и посадочных площадей необходимо обеспечить ускоренный рост и развитие сеянцев, повысить выход стандартного посадочного материала с единицы площади. Этого можно добиться путем применения современных регуляторов и биостимуляторов роста и развития растений [5-9]. Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.) – дерево высотой до 16 м, с темно-зеленой, буро-зеленой, бороздчатой или растрескивающейся корой, побеги голые, гладкие, часто имеют чечевички, продольные борозды и восковый налет (рис. 1). Листья голые, без опушения, имеют эллиптическую или широколанцетную форму. Цветет в апреле-мае, цветы фиолетовые, желтовато-зеленые, беловато-желтые, серебристо-желтые, колокольчатые. Плоды – односемянные крылатые орешки, собранные в шишечки, или односемянные крылатки в пучках. Прекрасно подходит для озеленения городов, в степном и полезащитном лесоразведении.

Изменчивость вяза обусловлена генетическими факторами, и в первую очередь – качественными характеристиками древесины (плотность, прямизна ствола и др.). В отношении характеристик адаптации вопрос до конца не выяснен. Из этого следует, что положительные признаки у деревьев, которые хорошо растут в экстремальных условиях, могут быть закреплены. Отбирая виды и формы с выдающимися характеристиками в жестких условиях произрастания и используя затем их семена, можно рассчитывать на облесение территорий деревьями с нужными хозяйственными признаками.

Существенные изменения в организации выращивания посадочного материала могут дать

положительные результаты только при условии укрепления питомниководства, увеличения выращивания посадочного материала, решения проблемы улучшения породного состава лесных насаждений в малолесных регионах, где значительные площади заняты малоценными лиственными породами.

Цель исследований: изучение роста и развития сеянцев вяза приземистого под влиянием препарата «Биофулен торфогель».

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2020-2022 гг. Растения вяза произрастают на опытных участках ФНИЦ агроэкологии РАН – Кировский селекционно-семеноводческий комплекс, Нижневолжская станция по селекции древесных пород, Федеральное государственное унитарное предприятие «Волгоградское». Почвы – светло-каштановые суглинчатые, с низким содержанием гумуса (рис. 2).

Наиболее подходящий срок для сбора семян вяза – май. Семена после сбора замачивали в теплой воде и смешивали с песком в соотношении 1:1. Замачивание проводилось с целью размягчения оболочек и набухания семян, появления всходов при посеве весной. Семена помещали в стеклянную посуду и заливали водой, которую

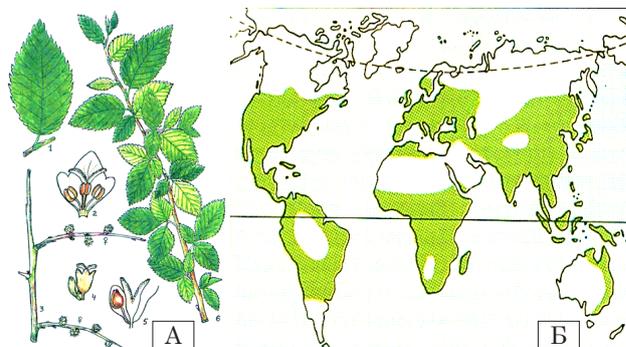


Рис. 1. Побег, цветки и листья вяза (а), ареал семейства *Ulmaceae* (б) [10, 11]

Fig. 1. Shoot, flowers and leaves of elm (a), range of the family *Ulmaceae* (b) [10, 11]

меняли 3-4 раза в сутки, затем добавляли стимулятор роста и замачивали семена на 6-12 ч.

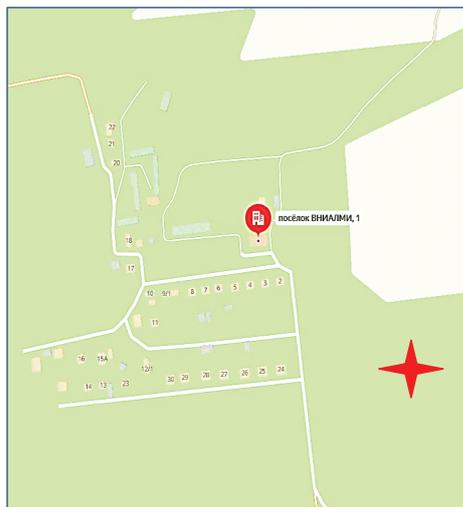
В течение 2-3 дней смесь выдерживали в климатостате КС-200 (рис. 3), соблюдая регулярный полив.

По листу обработка проводилась при расходе препарата 0,2-0,5 л на 50-150 л воды/га. При определении площади листовой поверхности

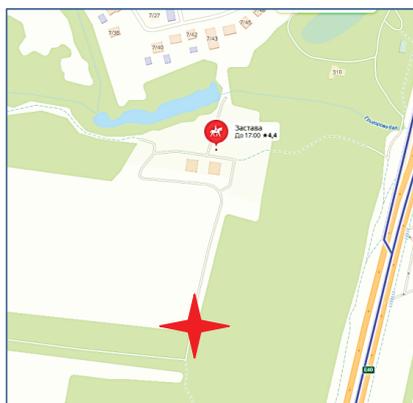
листья обрывали с заранее отмеченных деревьев, после сбора взвешивали, высушивали при температуре 105°C до момента, когда вес становился постоянным, затем определяли содержание влаги и сухого вещества в листьях. Площадь листовой поверхности определяли методом сканирования выборки в 10 листьев каждого дерева (рис. 4).



Кировский ССК / *Kirovsky SSK*



Нижневолжская станция по селекции древесных пород
Nizhnevolzhskaya station for selection of tree species



ФГУП «Волгоградское» / *FGUP 'Volgogradskoye'*



Рис. 2. Местоположение объектов для сбора семян

Fig. 2. Location of objects for seed collection



Рис. 3. Растильни с семенами в климатостате (термолюминостате) КС-200 и наблюдение за опытными образцами после посадки

Fig. 3. Planting seeds in climatostat (thermoluminostat) KS-200 and observation of prototypes after planting

Обработка результатов производилась в программах Excel, Statistica, Image J. Js.

Результаты их обсуждение. Работа по селекции вяза проводилась ВНИАЛМИ (ныне ФНИЦ агроэкологии РАН) с 1939 г., начавшись на Камышинском опорном пункте А.В. Альбенским. Семена были привезены из Хабаровска. В 1949 г. полученные гибриды семенным путем были размножены И.В. Калининой и П.К. Балашовым. В дальнейшем Ю.А. Давыдова изучала биологию цветения и плодоношения ильмовых (1952-1954 гг.), получив новые гибриды.

В результате проведенной в 2022 г. инвентаризации было установлено, что в 20-летнем возрасте высота вяза приземистого составляет 6 м, диаметр на 1,3 м – 8,7 см, зимостойкость, засухоустойчивость и жизнённость – отличные, цветение и плодоношение получили 5 баллов. Семена отбирались у растений без признаков повреждения вредителями и болезнями.

Анализ данных по погодным условиям позволил установить, что в 2022 г. наблюдались более значительные показатели отклонения от нормы и перепады температур [12].

Лабораторные исследования показали, что гуминовый препарат «Биофулен торфогель»

содержит все элементы питания, необходимые растениям для ускоренного роста и развития (рис. 5).

Применение биостимуляторов роста и гуминовых препаратов подобного типа способствует расширенному воспроизводству лесных ресурсов в регионах с суровыми почвенно-климатическими условиями. На начальном этапе роста и развития растения усиленно наращивают вегетативную и корневую массу, и им требуются улучшенные условия питания. Семена, обработанные биостимулятором роста, давали до 70% всходов. На 3-4 дни после посева появились массовые всходы. В ходе лабораторного опыта было выявлено положительное влияние препарата «Биофулен торфогель» на размеры сеянцев вяза приземистого (рис. 6).

Семена вязов имеют непродолжительный вынужденный период покоя, не прорастая до момента появления необходимых условий: влага, свет, тепло. По этой причине вяз можно выращивать без подготовки семян к посеву, однако у данного вида при весеннем посеве сухими семенами первые всходы могут появиться только через 3-4 недели. Поэтому для ускорения прорастания семена высеваются не сухими, а обработанными

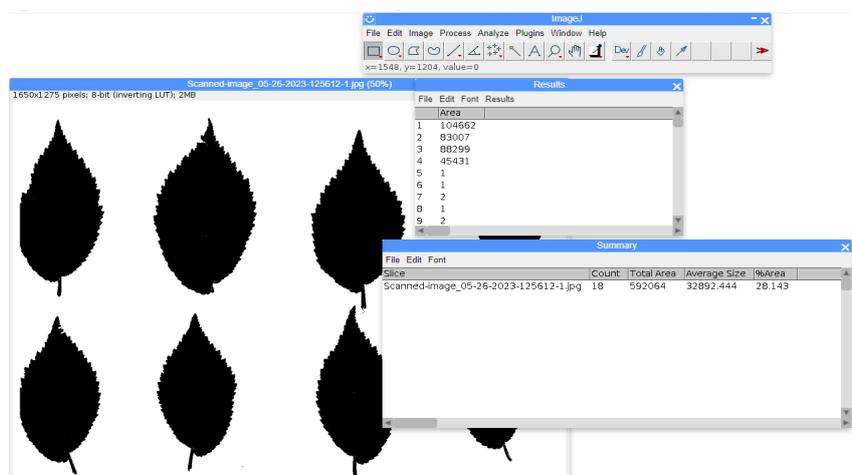


Рис. 4. Образец сканирования площади листьев вяза программой Image J. Js.

Fig. 4. Scan sample of elm leaf area by Image J. Js.

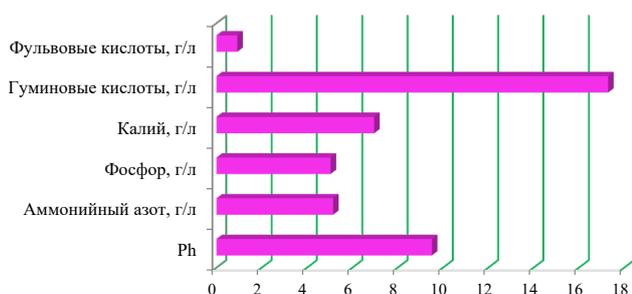


Рис. 5. Состав препарата «Биофулен торфогель»

Fig. 5. Composition of "Biofulen torfogel" preparation

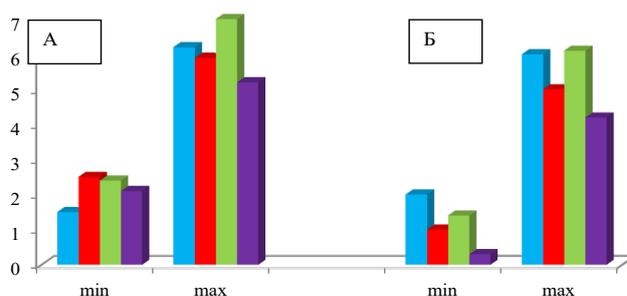


Рис. 6. Размеры сеянцев вяза с препаратом (а) и без препарата (б)

Fig. 6. Sizes of elm seedlings with preparation (a) and without preparation (b)

и пророщенными в лабораторных условиях, и после таких приемов появление всходов сокращается на неделю. В засушливых условиях Волгоградской области это имеет большое значение, так как всходы успевают окрепнуть до момента, когда верхний почвенный слой начнет пересыхать.

Влияние «Биофулена» на сеянцы вяза продолжало сказываться на протяжении всего периода вегетации. Самые низкие результаты получены на контроле, где препарат не применялся (табл. 1, рис. 7).

При этом правильное стимулирование роста не только в свою очередь стимулирует формирование корневой системы и надземной массы, но и способствует лучшему развитию стволика, повышает устойчивость растения к неблагоприятным условиям. Решающую роль в жизни насаждений в сухой зоне играют увлажнение грунта, накопление и сохранение осадков (табл. 2).

Установлено, что «Биофулен торфогель» оказывает всестороннее воздействие на физиологические процессы, вызывая изменения в росте и развитии, влияет на размеры вегетативных

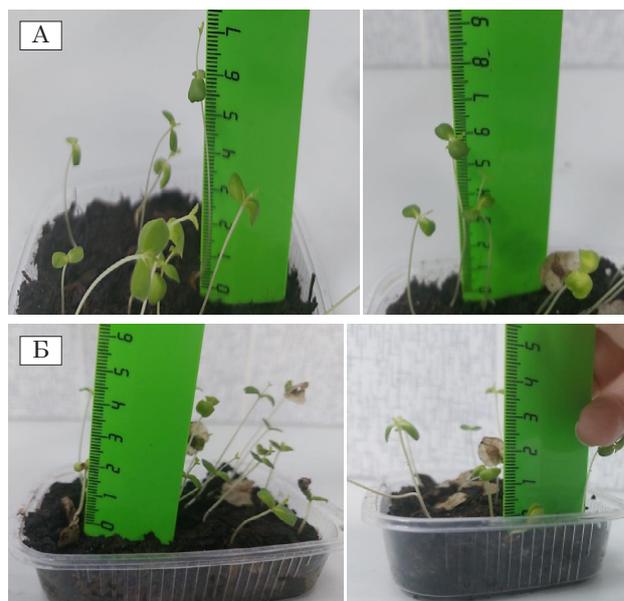


Рис. 7. Сравнительные характеристики биометрических показателей сеянцев вяза с «Биофуленом» (а) и на контроле (б)

Fig. 7. Comparative characteristics of biometric parameters of elm seedlings with Biofulen (a) and on control (b)

Таблица 1. Результаты применения препарата «Биофулен торфогель» при проращивании семян вяза приземистого

Table 1. Results of the use of “Biofulen torfogel” in germination of squat elm seeds

Вариант опыта <i>Experiment option</i>	Высота сеянца, см (1.05) <i>Seedling height, cm (1.05)</i>	Высота сеянца, см (1.09) <i>Seedling height, cm (1.09)</i>	Диаметр корневой шейки, мм <i>Diameter of the root neck, mm</i>	Кол-во корней 1 порядка <i>Number of 1st order roots</i>	Вес 10 сеянцев в воздушно-сухом состоянии, г <i>Weight of 10 seedlings in air-dry state, g</i>		
					Корень <i>root</i>	Стволик <i>trunk</i>	Лист <i>leaf</i>
2020							
Контроль / <i>Control</i>	6,3±0,02	21,4±0,1	2±0,01	13	78,9	82,9	22,1
Биофулен 6 часов / <i>Biofulen 6 hours</i>	6,8±0,03	26,5±0,2	3±0,01	15	82	91,3	38,9
Биофулен 12 часов / <i>Biofulen 12 hours</i>	7,2±0,02	31,4±0,1	3±0,01	16	98	102	56,3
R-квадрат 0,9808 / <i>R-square 0.9808</i>							
t-критерий 0,9644 / <i>t-criterion 0.9644</i>							
Стандартная ошибка остатков 7,0631 / <i>Standard error of residues 7.0631</i>							
Коэффициент вариации 0,1713 / <i>Variation coefficient 0.1713</i>							
2021							
Контроль / <i>Control</i>	4,3±0,01	20,8±0,1	2±0,01	12	67	61	12,9
Биофулен 6 часов / <i>Biofulen 6 hours</i>	5,1±0,02	23,6±0,1	2±0,01	11	75	72	29,1
Биофулен 12 часов / <i>Biofulen 12 hours</i>	6,7±0,03	30,6±0,2	2±0,01	14	78	81,7	38,4
R-квадрат 0,9896 / <i>R-square 0.9896</i>							
t-критерий 0,9807 / <i>t-criterion 0.9807</i>							
Стандартная ошибка остатков 4,2270 / <i>Standard error of residues 4.2270</i>							
Коэффициент вариации 0,1261 / <i>Variation coefficient 0.1261</i>							
2022							
Контроль / <i>Control</i>	4,9±0,02	19,9±0,1	1±0,01	13	80	77	34,0
Биофулен 6 часов / <i>Biofulen 6 hours</i>	5,8±0,01	20,8±0,1	2±0,01	15	98,7	80,1	42,8
Биофулен 12 часов / <i>Biofulen 12 hours</i>	6,4±0,02	29,4±0,1	2±0,01	15	99,0	89,8	69,6
R-квадрат 0,9764 / <i>R-square 0.9764</i>							
t-критерий 0,9562 / <i>t-criterion 0.9562</i>							
Стандартная ошибка остатков 7,9586 / <i>Standard error of residues 7.9586</i>							
Коэффициент вариации 0,1933 / <i>Variation coefficient 0.1933</i>							

органов растительного организма, оказывая положительное влияние на их размеры. Анализируя данные опытов, авторы отметили варьирование параметров листьев вяза при обработке «Биофуленом», что подтверждает необходимость его применения не только при выращивании сеянцев. Исключение составляли лишь контрольные образцы опытных растений. В вариантах опыта с его использованием растения значительно лучше выглядят и отличаются лучшими морфологическими показателями (рис. 8, 9).

Авторами также установлено, что с увеличением возраста у вяза приземистого увеличи-

вается и процент содержания в листьях сухого вещества, и содержание воды. Это связано с тем, что у старовозрастных насаждений адаптивные способности проявляются в большей мере, что важно при отборе плюсовых насаждений для дальнейшей селекционной работы и использования в агролесомелиоративном обустройстве территорий засушливых регионов (табл. 3).

Опыт показал, что при регулировании времени замачивания семян в биостимуляторе роста можно получить сеянцы вяза с различной величиной. Дополнительная обработка листьев позволяет увеличить фитомассу. Ускорение роста

Таблица 2. Рекомендуемая норма орошения при выращивании сеянцев вяза по фазам развития

Table 2. Recommended irrigation rate for growing elm seedlings by development phases

Семена: набухание и прорастание <i>Seeds: swelling and germination</i>			Всходы: формирование <i>Sprouts: formation</i>			Сеянцы: рост <i>Seedlings: height</i>		
Продолжительность фазы, дни <i>Duration of the phase, days</i>	Кол-во поливов <i>Quantity of irrigation</i>	Норма полива, м ³ /га <i>Irrigation rate, m³/ha</i>	Продолжительность фазы, дни <i>Duration of the phase, days</i>	Кол-во поливов <i>Quantity of irrigation</i>	Норма полива, м ³ /га <i>Irrigation rate, m³/ha</i>	Продолжительность фазы, дни <i>Duration of the phase, days</i>	Кол-во поливов <i>Quantity of irrigation</i>	Норма полива, м ³ /га <i>Irrigation rate, m³/ha</i>
0	3-4	100	15-20	2	100-150	80-90	3	300-350

Коридор колебаний величины листовых пластин вяза под влиянием препарата "Биофулен торфогель"

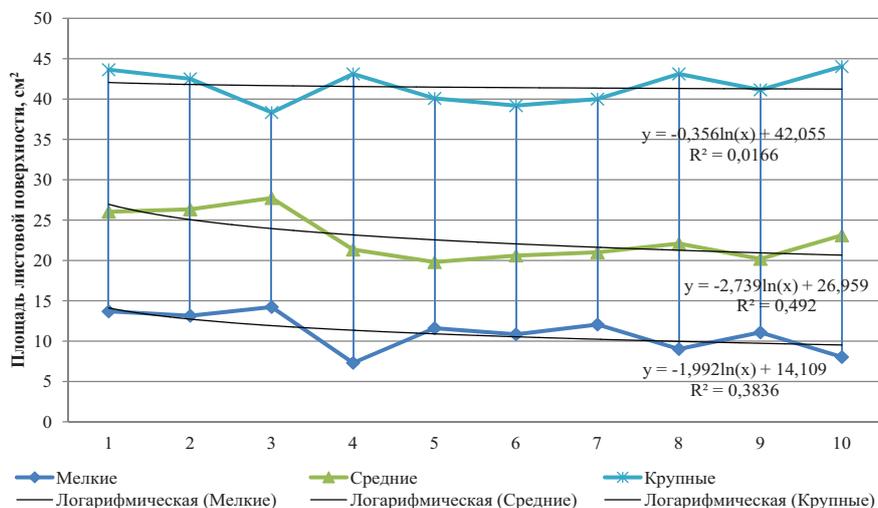


Рис. 8. Показатели параметров листовых пластин вяза приземистого под воздействием «Биофулена»

Fig. 8. Parameters of the leaf plates of the squat elm under the influence of "Biofulene"



Рис. 9. Разница в площади листовой пластины вяза приземистого

Fig. 9. Difference in the area of the leaf plate of the squat elm

Таблица 3. Биометрические и физиологические показатели листьев вяза различного возраста

Table 3. Biometric and physiological indicators of elm leaves of different ages

Возраст дерева, лет <i>Age of the tree, years</i>	Сырой вес листьев, кг <i>Raw weight of leaves, kg</i>	Содержание в листьях воды, % <i>Water content in leaves, %</i>	Содержание в листьях сухого вещества, % <i>Dry matter content in leaves, %</i>	Площадь листовой поверхности, см ² <i>Leaf surface area, cm²</i>	Стандартное отклонение S листовой поверхности <i>Standard deviation S of the leaf surface</i>
Координаты сбора N48°38'52.60"C E44°26'7.30"B / <i>Coordinates of collection</i>					
12	2,5	58,01	37,3	9,02	2,3
Координаты сбора N48°37'52.30"C E44°25'15.97"B / <i>Coordinates of collection</i>					
20	6,2	65,4	35,5	21,34	2,79
Координаты сбора N50°04'45.6"C E45°22'09.8"B / <i>Coordinates of collection</i>					
75	3,0	71,6	40,1	42,51	1,99

сеянцев в начальный период путем обработки препаратом позволит более полно использовать посевные площади питомников, получать большее количество стандартных сеянцев, активизировать их физиологические процессы и повысить линейные размеры.

Выводы

Применение биостимулятора роста и гуминового препарата «Биофулен торфогель» увеличивает интенсивность роста сеянцев вяза приземистого. Установлено, что 2020 год по погодным условиям был более благоприятным. Под воздействием «Биофулена у опытных образцов высота сеянца в варианте опыта с замачиванием в течение 12 ч составила 7,2 см, спустя 5 месяцев – 31,4 см, что выше, чем в 2021 и 2022 гг. Вес сеянцев в сухом состоянии корневой, листовой массы и стебля также был больше в 2020 г. в варианте

опыта с замачиванием в течение 12 ч, что позволяет рекомендовать данный вариант опыта для дальнейших исследований.

Выявлено, что в засушливых условиях на выращиваемый посадочный материал положительное влияние оказывает режим орошения, который подбирается под каждую фазу развития растения. Наиболее оптимальной в фазу развития сеянцев является норма полива в 300-350 м³. Подкормка «Биофуленом» растений вяза по листу также приносит положительный результат. Коэффициент детерминации у самых крупных экземпляров листьев составил 0,3836. Образцы растений под воздействием препарата «Биофулен торфогель» отличались лучшим ростом, развитием и морфологическими показателями, что делает его перспективным для дальнейшего применения и изучения.

Работа выполнена по теме Государственного задания № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список использованных источников

1. Сырчина Н.В., Сазанов А.В., Григорьев В.В. Экологические аспекты использования торфогеля в сельском хозяйстве // Общество. Наука. Инновации (НИК-2017): Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-практической конференции, 1-29 апреля 2017 г. Киров: ВятГУ, 2017. С. 220-227.
2. Степанов А.А., Якименко О.С., Шульга П.С. Эффективность действия гуминовых биополимеров из торфа и угля при восстановлении почвенной

References

1. Syrchina N.V., Sazanov A.V., Grigoriev V.V. Ecological aspects of the use of peat gel in agriculture // Society. Science. Innovations (NPK-2017): collection of articles. All-Russian annual scientific and practical conference, April 01-29, 2017. Kirov: VyatGU, 2017. P. 220-227.
2. Stepanov A.A., Yakimenko O.S., Shulga P.S. Efficiency of humic biopolymers actions from peat and coal in the restoration of soil structure. 2022. № 3(23). DOI 10.23649/jae.2022.3.23.02.

структуры // Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 3 (23). DOI: 10.23649/jae.2022.3.23.02.

3. **Велижанских Л.В., Корнелюк Е.М.** Влияние биостимуляторов роста на укоренение одревесневших черенков декоративных кустарников в условиях рискованного земледелия // *Universum: химия и биология*. 2023. № 5-1 (107). С. 66-69. DOI: 10.32743/UniChem.2023.107.5.15297.

4. **Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А.** Современные представления о биостимуляторах // *Агрохимия*. 2014. № 7. С. 85-90.

5. **Рыбашлыкова Л.П., Петров Н.Ю.** Влияние биостимуляторов на рост, развитие и продуктивность лекарственных культур в условиях Северного Прикаспия // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2015. № 1 (22). С. 20-23.

6. **Никифоров С.В.** Влияние биопрепаратов на укоренение одревесневших черенков смородины // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2014. Т. 38, № 2. С. 28-33.

7. **Оплачко Е.А.** Влияние применения биостимуляторов роста на нормирование плодов яблони отечественных сортов и улучшение их товарных качеств // *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*. 2022. Т. 34. С. 140-145. DOI: 10.30679/2587-9847-2022-34-140-145.

8. **Ермакова М.В., Стеценко С.К., Андреева Е.М.** Влияние высокоактивных соединений на механические свойства древесины двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в лесных питомниках // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2023. № 1 (391). С. 88-99. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-88-99.

9. **Романенко А.К.** Использование гуминовых препаратов для выращивания посадочного материала древесных растений в аридном регионе / Солонкин А.В., Соломенцева А.С., Егоров С.А. // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 6 (221). С. 2-15. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-2-15.

10. **Валягина-Малютина Е.Т.** Деревья и кустарники Средней полосы Европейской части России: иллюстрированный определитель. СПб.: Специальная Литература, 1998. 111 с.

11. Ареал семейства Ильмовые. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dendrology.ru/forest/item/f00/s02/e0002727/index.shtml> (дата обращения: 06.05.2023).

12. Погода в Волгограде. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/volgograd/2021/> (дата обращения: 02.02.2023).

Об авторах

Александра Сергеевна Соломенцева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-5857-1004; alexis2425@mail.ru

Сергей Николаевич Крючков, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ORCID: 0000-0001-8234-7355

Сергей Анатольевич Егоров, младший научный сотрудник, аспирант; ORCID: 0000-0002-5857-1004

Критерии авторства / Criteria of authorship

Соломенцева А.С., Крючков С.Н., Егоров С. А 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 Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

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

Статья поступила в редакцию / Submitted to the editorial office 12.07.2023

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 18.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.12.2023

3. **Velizhanskikh L.V., Kornelyuk E.M.** Influence of biostimulators of growth on rooting of lignified cuttings of ornamental shrubs in the conditions of risk farming. // *Universum: Chemistry and Biology*. 2023. № 5-1(107). P. 66-69. DOI: 10.32743/UniChem.2023.107.5.15297.

4. **Yakhin O.I., Lubyaynov A.A., Yakhin I. A** Modern ideas about biostimulators // *Agrochemistry*. 2014. № 7. P. 85-90

5. **Rybashlykova L.P., Petrov N.Yu.** Influence of biostimulators on growth, development and productivity of medicinal crops in the conditions of the Northern Caspian Sea // *Theoretical and applied problems of the agricultural-industrial complex*. 2015. № 1(22). P. 20-23.

6. **Nikiforov S.V.** Influence of biopreparations on the rooting of lignified currant cuttings. // *Fruit and berry growing in Russia*. 2014. Vol. 38, No. 2. P. 28-33.

7. **Oplachko E.A.** Influence of the use of biostimulators of growth on the rationing of apple fruits of domestic varieties and improvement of their commodity qualities // *Scientific works of the North-Caucasian federal scientific center of gardening, viticulture, winemaking*. 2022. Т. 34. P. 140-145. DOI 10.30679/2587-9847-2022-34-140-145.

8. **Ermakova M.V., Stetsenko S.K., Andreeva E.M.** Influence of highly active compounds on the mechanical properties of wood of two-year-old seedlings of scotch pine in forest nurseries. // *News of Higher Education-educational institutions. Forest magazine*. 2023. № 1(391). P. 88-99. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-88-99.

9. **Romanenko A.K.** Use of humic preparations for growing planting material of wood plants in the arid region / Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Egorov S.A. // *Agrarian bulletin of the Urals*. 2022. № 6(221). P. 2-15. – DOI 10.32417/1997-4868-2022-221-06-2-15.

10. **Valyagina-Malyutina E.T.** Trees and shrubs of the Middle strip of the European part of Russia. St. Petersburg: spec. Bibliography, 1998. 111 p.

11. The area of the Ilmoy family [Electronic resource]. Available at: <http://dendrology.ru/forest/item/f00/s02/e0002727/index.shtml> (accessed 06.05.2023).

12. Weather in Volgograd [Electronic resource]. Available at: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/volgograd/2021/> (assessed 02.02.2023).

Author information

Alexandra S. Solomentseva, candidate of agriculture sciences, Senior researcher, ORCID: 0000-0002-5857-1004, alexis2425@mail.ru

Sergey N. Kryuchkov, doctor of agriculture sciences, Chief researcher, ORCID: 0000-0001-8234-7355

Sergey A. Egorov, junior researcher, postgraduate student, ORCID: 0000-0002-5857-1004

Solomentseva A.S., Kryuchkov S.N., Egorov S.A. conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-130-136>

УДК 630*161:581.93:502/504



ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ САКСАУЛОВЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ

Я.А. Крекова^{1✉}, А.В. Кердяшкин², Е.П. Вибе¹

¹ Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агроресомелиорации им. А.Н. Букейхана; 021704, Акмолинская область, г. Щучинск, ул. Кирова, 58, Республика Казахстан

² Институт ботаники и фитоинтродукции; 050040, г. Алматы, ул. Тимирязева, 36Д, Республика Казахстан

Аннотация. Приведены данные фитоценологических исследований саксауловых лесов Северных Кызылкумов в определенных лесорастительных условиях. Описано 10 растительных сообществ. Установлено преобладание сообществ с участием *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Пjin (5 сообществ) и смешаносаксауловых сообществ из *Haloxylon aphyllum* и *Haloxylon persicum* Bunge ex Boiss & Buhse (4 сообщества), единично – белосаксаулового сообщества из *Haloxylon persicum*. Саксауловые сообщества – редкостойные, с небольшим количеством подроста саксаула. Виды нормально развивались, но не достигали своих обычных размеров, проходили весь цикл своего развития, плодоносили. Таксономический анализ флоры показал наличие 41 вида из 31 рода и 15 семейств. Общее проективное покрытие всех растений в сообществах колебалось от 30 до 100%. Выделены группы видов растений по хозяйственной ценности. Приведенные результаты исследований могут быть использованы для оценки структурных экологических и морфологических изменений в природных и антропогенных условиях среды других регионов Казахстана и иных стран.

Ключевые слова: саксауловые леса, растительные сообщества, хозяйственная ценность, эколого-фитоценологические исследования саксауловых лесов

Формат цитирования: Крекова Я.А., Кердяшкин А.В., Вибе Е.П. Эколого- фитоценологическая оценка состояния саксауловых лесов Северных Кызылкумов // Природообустройство. 2024. № 1. С. 130-136. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-130-136>

Original article

ECOLOGICAL AND PHYTOCOENOTIC ASSESSMENT OF THE STATE OF SAXAUL FORESTS OF NORTHERN KYZYLKUMS

Ya.A. Krekova^{1✉}, A.V. Kerdyashkin², E.P. Vibe¹

¹ A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirov str., Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan, 021704

² Institute of Botany and Phytointroduction, 36D Timiryazev str., Almaty, Republic of Kazakhstan, 050040

Abstract. The data of phytocenotic studies of saxaul forests of Northern Kyzylkum under certain forest growing conditions are presented. 10 plant communities have been described. The predominance of communities with the participation of *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Пjin (5 communities) and mixed saxaul communities from *Haloxylon aphyllum* and *Haloxylon persicum* Bunge ex Boiss was established. & Buhse (4 communities), a single white-saxaul community from *Haloxylon persicum*. Saxaul communities are rare with a small amount of saxaul undergrowth. The species developed normally, but did not reach their usual size, went through the entire cycle of their development, and bore fruits. Taxonomic analysis of the flora showed the presence of 41 species from 31 genera and 15 families. The total projective coverage of all plants in the communities ranged from 30 to 100%. Groups of plant species by economic value are identified. The results of the study can be used to assess structural ecological and morphological changes in the natural and anthropogenic environmental conditions of other regions of Kazakhstan and other countries.

Keywords: saxaul forests, plant communities, economic value, phytocenotic study of saxaul forests

Format of citation: Krekova Ya.A., Kerdyashkina A.V., Vibe E.P. Ecological and phytocenotic assessment of the state of saxaul forests of Northern Kyzylkums // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 130-136. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-130-136>

Введение. Высыхание Аральского моря оказало негативное влияние не только на условия, но и на качество жизни всего близлежащего

населения таких республик, как Узбекистан, Туркменистан и Казахстан. В этих регионах были отмечены не только негативное влияние

экологических факторов на здоровье населения, но и общая деградация природной среды. Прямым следствием высыхания моря стали изменения климатического режима, истощение генофонда флоры и фауны [1, 2].

В Казахстане наибольшая территория, подверженная влиянию экологического кризиса Аральского моря, находится в Восточном Приаралье (Кызылординская область), где нами были проведены флористические исследования естественной флоры. Основными лесообразующими видами данной территории являются *Haloxylon aphyllum* и *Haloxylon persicum*.

В последние десятилетия вследствие резко возросшей антропогенной нагрузки на саксауловые леса отмечено ухудшение их состояния. Происходят аридизация и опустынивание территорий, деградация и разрушение почв, их засоление, нарушение природных связей, ослабление способности экосистем к саморегуляции и естественному восстановлению. Особенно это проявляется в районе высыхания Аральского моря, где наблюдается падение уровня грунтовых вод, и как следствие – смена растительного покрова, обеднение состава фитоценозов, что приводит к истощению восстановительного потенциала экосистем саксауловых лесов [3].

Растительные компоненты экосистем (основные сообщества) средних пустынь представлены полукустарничками и кустарниками и отличаются малым видовым разнообразием, небольшим проективным покрытием и абсолютным господством засухоустойчивых видов ксерофитов и гиперксерофитов на серо-бурых пустынных, промерзающих почвах [4].

Отсутствие информации о современном состоянии лесных насаждений Северных Кызылкумов, выполняющих важную пескоудерживающую и почвоулучшающую функцию, обуславливает необходимость комплексных фитоценологических и флористических исследований.

Цель исследований: эколого-фитоценологическая оценка выделенных сообществ по ценотипам и хозяйственной ценности при изучении современного состояния саксауловых лесов.

Материалы и методы исследований. Объект исследований – компоненты природно-территориальных комплексов саксаульников Северных Кызылкумов. Согласно подразделению на физико-географические провинции Казахстана район исследований отнесен к провинциям пустынной зоны: Нижнесырдарьинской и Северо-Кызылкумской [5]. Согласно ботанико-географическому районированию Казахстана саксауловые леса района исследований

находятся в пределах средних пустынь и относятся к Сахаро-Гобийской пустынной области, Ирано-туранской подобласти, Северотуранской провинции, Западно-Северотуранской подпровинции, равнинной [6].

Климат исследуемой территории – резко континентальный с жарким сухим продолжительным летом и холодной короткой малоснежной зимой. По данным метеостанции г. Казалинск [7], за последний 10-летний период средняя годовая температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли составляла 10°C, относительная влажность – 57%, годовая сумма осадков – 144,5 мм. Наименьшее количество дней с осадками (2-3 дня) приходится на самые жаркие месяцы – с июля по сентябрь.

Геоботанические описания в саксауловых насаждениях проводились в Кызылординской области, на территории административного Казалинского государственного учреждения по охране лесов и животного мира. В основу были положены данные экспедиционных исследований растительных сообществ в 2020-2021 гг.

Согласно данным лесоустроительных материалов установлено, что на данной территории преобладают насаждения *Haloxylon aphyllum*, произрастающие в предпесковой зоне (около 80%). Их положение в рельефе – песчаные всхолмления с низкими буграми и понижения между ними, равнина в предпесках и надпойменные террасы, микропонижения на равнине [8]. В исследования были включены средневозрастные насаждения (11-20 лет) *Haloxylon persicum*, произрастающие на барханно- и бугристо-рядовых песках Кызылкумов, а именно в нижней части склонов, гряд и бугров, понижения между ними.

Наиболее значительно по площади *Haloxylon aphyllum* представлен средневозрастными (11-20 лет) и приспевающими (21-25 лет) насаждениями, на которые приходится 65%. На долю молодняков (1-10 лет), спелых (26-35 лет) и перестойных (от 36 лет) насаждений приходится 21 и 14% соответственно.

Были подобраны участки в разновозрастных насаждениях *Haloxylon aphyllum*, характеризующие основные условия произрастания исследуемой территории. Детальные исследования были проведены на 10 пробных площадях в 0,25 га (рис. 1).

Полевые геоботанические исследования включали в себя методы ландшафтно-экологического профилирования и описание основных растительных сообществ. Растения определялись посредством флористических сводок [9-16]. Редкие виды определялись по Красной книге

Казахстана [17]. Состояние растительного покрова, геоботанические характеристики определены с помощью классических методов [18-20]. Высота древесного яруса саксаула, диаметр, размер кроны, среднее расстояние между экземплярами измерялись стандартными инструментами, используемыми в лесной таксации, выражаясь через основные статистические показатели [21, 22].

Результаты и их обсуждение. Таксономический анализ флоры показал наличие 41 вида из 31 рода и 15 семейств. Было установлено, что доминируют сообщества с участием *Haloxylon aphyllum* (5 сообществ), а также встречаются смешаносаксауловые сообщества из *Haloxylon aphyllum* и *Haloxylon persicum* (4 сообщества) и одно сообщество с *Haloxylon persicum* (табл.).

В смешаносаксауловых сообществах на пробных площадях № 2, 4 и 5 количество *Haloxylon persicum* не превышало 10%, а на пробной площади № 3 саксаул встречался единично.

По доминантам кустарниковой растительности отмечены сообщества с *Salsola orientalis*, *Tamarix laxa* и *T. ramosissima*, *Calligonum eriopodum* и *Atraphaxis spinosa* (по одному виду в каждом сообществе). Чаше других встречаются сообщества с доминированием *Carex physodes* (5 сообществ) и *Artemisia terrae-albae* (4). Реже встречаются сообщества с *Artemisia annua* (1), *Poa bulbosa* (1), *Salsola orientalis* (1) и *Peganum harmala* (1).

Эдификатором 9 сообществ выступает *Haloxylon aphyllum*, который устойчиво доминирует и оказывает существенное влияние на формирование фитосреды сообществ (по массе и высоте

растений). *Haloxylon persicum* являлся ассектатором в 4 сообществах и только в 1 сообществе выступил эдификатором.

Виды саксаула проходят весь цикл своего развития, плодоносят, но не достигают своих обычных размеров. У *Haloxylon aphyllum* вегетация начиналась раньше, чем у *Haloxylon persicum*, на 10-14 дней.

В зависимости от пробной площади количество саксаула старше 5 лет составило 67-125 шт. Средняя высота древесного яруса саксаула колебалась от 60,4±3,2 до 150±10 см. Диаметр варьировал от 2,2±0,3 до 7±0,9 см. Размер кроны – от 65,4±4,1 до 170,2±4,7 см. Среднее расстояние между экземплярами саксаула составляло 110,5±7 см. Общее проективное покрытие всех растений на пробных площадях колебалось от 30 до 100%. Количество подроста *Haloxylon aphyllum* (от 2 до 5 лет) – от 20 до 195 шт. Возобновление – удовлетворительное. Средняя высота – 0,5 м. Проективное покрытие составляет 2%. Характер размещения – неравномерно и единично.

В кустарниковом ярусе встречаются, а иногда преобладают пустынные виды *Salsola arbuscula*, *Atraphaxis spinosa*, *Calligonum eriopodum*, *Tamarix ramosissima*, *T. laxa*, которые выступали ассектаторами. Состояние кустарников – хорошее. Количество – до 20 шт. Средний возраст составляет 5-10 лет. Размещение растений в ярусе – неравномерное, единичное, местами группами.

Проективное покрытие травянистого покрова составляет 10-20%. В травянистом покрове чаще других доминируют *Carex physodes* (5 сообществ)

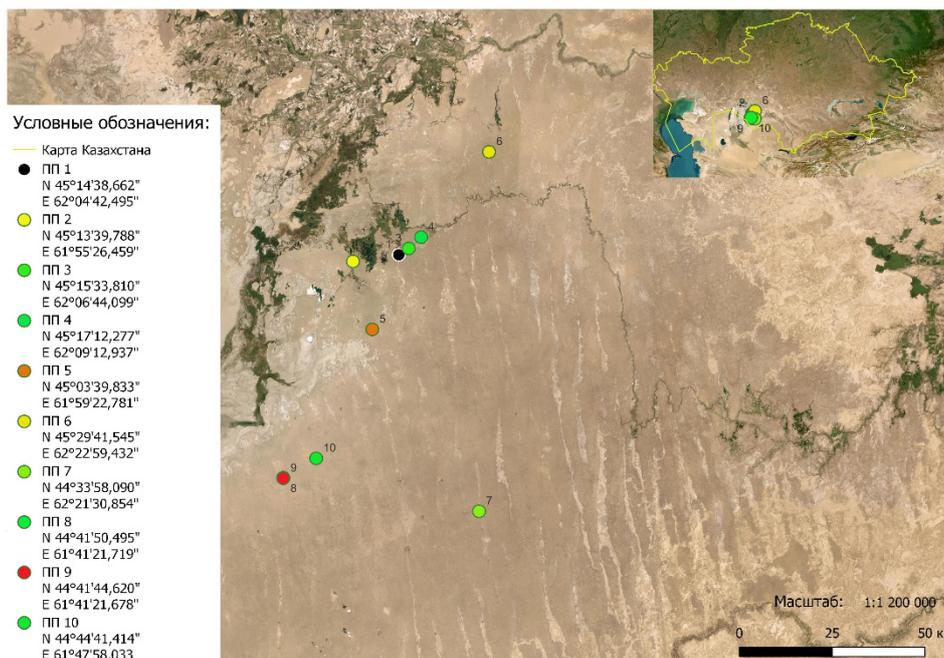


Рис. 1. Местонахождение пробных площадей

Fig. 1. Location of trial areas

Таблица 1. Фитоценотическая характеристика исследуемых сообществ
Table 1. Phytocoenotic characteristics of the studied communities

Пробная площадь <i>Temporary sample plot</i>	Названия сообществ <i>Names of communities</i>	Виды растений <i>Plant species</i>
1	Вздутоосоково-боялычевый черносаксаульник с участием курчавки и жузгуна на песках	Haloxylon aphyllum , Calligonum eriopodum Bunge, Salsola arbuscula Pall., Carex physodes M. Bieb., Atraphaxis spinosa L., Artemisia terrae-albae Krasch., Ceratocarpus arenarius L., Scorzonera sericeo-lanata (Bunge) Krasch. & Lipsch., Allium sp., Iris tenuifolia Pall., Astragalus flexus Fisch., Limonium sp., Cousinia sp.
2	Луковичомятликово-деревце-видносольяноково-смешаносаксауловое с участием жузгуна шерстистого на песках	Haloxylon aphyllum , Haloxylon persicum , Salsola arbuscula , Poa bulbosa L., Calligonum eriopodum , Carex physodes , Artemisia terrae-albae , Scorzonera sericeo-lanata , Ceratocarpus arenarius , Alhagi maurorum Medik., Iris tenuifolia , Astragalus flexus , Tulipa borszczowii Regel, Bassia prostrata (L.) Beck, Ferula sp., Eremurus inderiensis (M. Bieb.) Regel, Limonium sp.
3	Вздутоосоково-смешаносаксауловое с участием гребенщика ветвистого на песках	Haloxylon aphyllum , Haloxylon persicum , Tamarix ramosissima Ledeb., Carex physodes , Artemisia terrae-albae , Scorzonera sericeo-lanata , Ceratocarpus arenarius , Alhagi maurorum , Peganum harmala L., Anabasis aphylla L., Astragalus flexus
4	Вздутоосоково-однолетнепольное смешаносаксауловое с участием гребенщика рыхлого на песках	Haloxylon aphyllum , Haloxylon persicum , Tamarix laxa Willd., Artemisia annua L., Artemisia terrae-albae , Artemisia songarica Schrenk ex Fisch. & C.A. Mey, Suaeda altissima (L.) Pall., Carex physodes , Climacoptera lanata (Pall.) Botsch., Suaeda sp., Climacoptera sp., Poa bulbosa , Scorzonera sericeo-lanata , Ceratocarpus arenarius , Alhagi maurorum , Astragalus flexus , Anabasis aphylla , Chenopodium album L., Peganum harmala , Centaurea pseudosquarrosa Mikheev, Tulipa borszczowii , Limonium sp., Eremurus inderiensis , Orobanche sp., Ferula sp.
5	Вздутоосоково-белоземельнопольно-боялычево-смешаносаксауловое на песках	Haloxylon aphyllum , Haloxylon persicum , Salsola arbuscula , Artemisia terrae-albae , Carex physodes , Ceratocarpus arenarius , Tulipa borszczowii
6	Разнотравно-белоземельнопольно-черносаксауловое на песках	Haloxylon aphyllum , Artemisia terrae-albae , Carex physodes , Salsola orientalis S.G. Gmel., Atriplex sp., Tulipa borszczowii
7	Белоземельнопольно-адраспаново-черносаксауловое на пустынных песчаных такыровидных (солончаковые) почвах	Haloxylon aphyllum , Peganum harmala , Artemisia terrae-albae , Artemisia viridis Willd., Chenopodium album , Tulipa sp., Ferula karakumica Geld. & A.V. Pavlenko, Astragalus flexus
8	Вздутоосоково-белоземельнопольное черносаксауловое на пустынных песчаных такыровидных (солончаковых) почвах	Haloxylon aphyllum , Artemisia terrae-albae , Carex physodes , Chenopodium album , Tulipa sp., Salsola orientalis , Senecio subdentatus Ledeb., Chondrilla sp., Agropyron fragile (Roth) P. Candargy
9	Белоземельнопольно-кейреуково-черносаксауловое на пустынных песчаных такыровидных (солончаковые) почвах	Haloxylon aphyllum , Artemisia terrae-albae , Salsola orientalis , Chenopodium album , Senecio subdentatus , Agropyron fragile , Tulipa borszczowii
10	Разнотравно-белоземельнопольно-белосаксауловое на пустынных песчаных почвах	Haloxylon persicum , Artemisia terrae-albae , Carex physodes , Ceratocarpus arenarius , Salsola orientalis , Iris tenuifolia

Примечание: доминанты и субдоминанты сообществ выделены жирным шрифтом

Note: dominants and subdominants of communities are highlighted in bold

и *Artemisia terrae-albae* (4). Единично встречались сообщества с *Artemisia annua*, *Poa bulbosa*, *Salsola orientalis* и *Peganum harmala*. Менее обильны и реже встречались в сообществах виды: *Scorzonera sericeo-lanata*, *Ceratocarpus arenarius*, *Allium sp.*, *Iris tenuifolia* (рис. 2а), *Ferula karakumica*, *Alhagi maurorum*, *Chenopodium album*, *Tulipa sp.*, *Senecio subdentatus*, *Chondrilla sp.*, *Atriplex sp.*; другие виды из рода *Artemisia*, а также злак *Agropyron fragile*. Единично отмечены виды *Astragalus flexus*, *Limonium sp.*, *Cousinia sp.* и др. В двух сообществах найден *Tulipa borszczowii* (рис. 2б) – эндемичный редкий вид, который встречается на ограниченной территории [17].

Виды были проанализированы по хозяйственной принадлежности (рис. 3). Выявлено, что преобладают пастбищные и кормовые виды.

Распределение видов по хозяйственной ценности представлено следующим образом:

– пастбищные, кормовые виды (36%): *Haloxylon aphyllum*, *H. persicum*, *Salsola arbuscula*, *Calligonum eriopodum*, *Agropyron fragile*, *Salsola orientalis*, *Alhagi maurorum*, *Poa bulbosa*, *Artemisia songarica*, *A. viridis*, *A. terrae-albae*, *Carex physodes*, *Bassia prostrata*, *Suaeda altissima*, *Chenopodium album*;



Рис. 2. Цветущие весенние растения:

а – *Iris tenuifolia*; б – *Tulipa borszczowii*

Fig. 2. Blooming spring plants:

а – *Iris tenuifolia*; б – *Tulipa borszczowii*

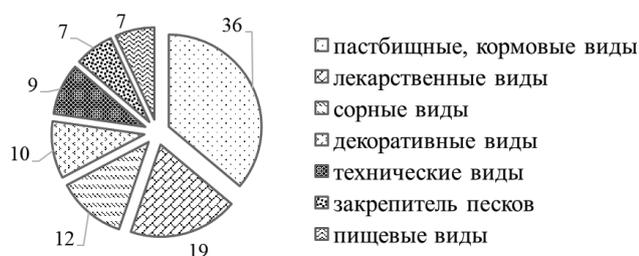


Рис. 3. Распределение видов

в долевом соотношении

по группам хозяйственной ценности

Fig. 3. Distribution of species in proportion by groups of economic value

– лекарственные виды (19%): *Astragalus flexus*, *Limonium sp.*, *Peganum harmala*, *Ferula sp.*, *Allium sp.*, *Artemisia annua*, *Climacoptera lanata*, *Suaeda altissima*;

– сорные виды (12%): *Artemisia annua*, *Peganum harmala*, *Atriplex sp.*, *Centaurea pseudosquarrosa*, *Orobanche sp.*;

– технические виды (10%): *Salsola arbuscula*, *Tamarix ramosissima*, *Anabasis aphylla*, *Atriplex sp.*;

– декоративные виды (9%): *Tamarix laxa*, *T. ramosissima*, *Iris tenuifolia*, *Tulipa sp.*;

– закрепитель песков (7%): *Haloxylon persicum*, *Tamarix laxa*, *Carex physodes*;

– пищевые виды (7%): *Allium sp.*, *Ferula karakumica*, *Orobanche sp.*

Пустыня Кызылкум характеризуется особенностями туранской агроклиматической провинции. По комплексу природных характеристик выделены 3 самостоятельные зоны: северная, центральная и южная. Южная зона отличается относительно благоприятной обстановкой: температурный режим – ниже на 2-3°C при максимальных и выше на 4 и 9,9°C при минимальных значениях; количество атмосферных осадков в 2 раза выше, чем в других природных районах пустыни.

Таким образом, по климатическим параметрам климат наиболее суров в центральной и северной зонах Кызылкум, что значительно влияет на развитие флоры и растительности региона [23].

Согласно последним данным, основанным на многолетних флористических исследованиях, по всей пустыне Кызылкум предварительный список флоры насчитывал не менее чем 1043 видов, относящихся к 402 родам из 79 семейств. При этом авторы обращают внимание на то, что такое большое количество таксонов обусловлено прежде всего наличием целой сети останцевых низкогорий, где еще сохранились немногочисленные горносреднеазиатские элементы. Сама по себе большая площадь пустыни не является решающим фактором, определяющим флористическое богатство этого региона в системе Туранской провинции [24].

Что касается изучения флоры Северных Кызылкумов, то некоторые обобщенные данные, характеризующие флору в составе отдельной провинции, отражены в монографии Л.Я. Курочкиной [25]. По ее данным, на песках преобладали сообщества саксаулов *Haloxylon aphyllum* и *Haloxylon persicum*, полыни *Artemisia terrae-albae*, *A. arenaria*, *Agropyron fragile*, кустарников *Astragalus*, *Ammodendron*, *Calligonum murex* и др. Оригинальными являются сообщества *Artemisia*

tomentella, *Calligonum murex*, *Eremosparton aphyllum*, *Astragalus brachypus*.

Таким образом, наиболее полные фитоценологические и флористические исследования были проведены на территории останцовых возвышенностей в южной части Кызылкумов, где сосредоточен достаточно разнообразный видовой состав растений. Однако на больших площадях Кызылкумов произрастает ограниченное количество видов растений. Имеющиеся скудные данные о видовом составе флоры наиболее пустынных районов в основном включены в общий флористический анализ отдельных провинций или районов. Проведенные нами исследования на основе лесорастительных условий саксауловых лесов и площадей их распространения показывают, насколько ограниченным может быть флористическое разнообразие на довольно больших площадях (297,2 тыс. га).

Выводы

Таксономический анализ флоры показал наличие 41 вида из 31 рода и 15 семейств.

Данные исследования финансируются Азиатской организацией лесного сотрудничества (AFoCO) (исследовательский проект: AFoCO/020/2020).

Список использованных источников

1. Waltham T., Sholji I. The demise of the Aral Sea – An environmental disaster // *Geology Today*. 2001. 17 (6). Pp. 218-228. <https://doi.org/10.1046/j.0266-6979.2001.00319.x>.
2. Куддашева Ш.А., Рустамова С.Р. Особенности экологической ситуации на осушенном дне Аральского моря: стабилизация подвижных песков // Сборник конференций НИЦ Социосфера. 2015. № 8. С. 18-20.
3. Новикова Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Ч. 3. Исследование динамики природных комплексов Приаралья // *Экосистемы: экология и динамика*. 2021. Т. 5, № 3. С. 60-155.
4. Зеленая книга Республики Казахстан. Перечень уникальных растительных сообществ Казахстана: Отчет о НИР / Под ред. акад. И.О. Байтулина. Алма-Ата: 2007. 296 с.
5. Гвоздецкий Н.А., Николаев В.А. Казахстан. Очерк природы. М.: Мысль, 1971. 296 с.
6. Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной зоны): монография / Под ред. Е.И. Рачковской, Е.А. Волковой, В.Н. Храмцова. СПб.: Бостон-Спектр, 2003. 424 с.
7. Расписание погоды. [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 28.11.2022).
8. Пояснительная записка к материалам государственного лесного кадастра и кадастра особо охраняемых лесных территорий лесного фонда Республики Казахстан по состоянию на 1 января 2021 г. Алматы: 2021. 139 с.
9. Флора Казахстана / Сост. А.П. Гамаюнова, К.В. Дობрохотова, Н.М. Кузнецов, Н.В. Павлов и др. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1956. Т. 1. 373 с.

Описано 10 растительных сообществ, среди которых преобладали сообщества с участием *Haloxylon aphyllum* (5 сообществ), смешаносаксаульничковые из *Haloxylon aphyllum* и *Haloxylon persicum* (4 сообщества). Единично встретилось белосаксауловое сообщество *Haloxylon persicum* (одно). Общее проективное покрытие всех растений в сообществах составило от 30 до 100%.

В кустарниковом ярусе встречались *Sal-sola arbuscula*, *Atraphaxis spinosa*, *Calligonum eriopodum*, *Tamarix ramosissima*, *T. laxa*. В сообществах в травянистом покрове чаще других доминировали виды *Carex physodes* (в 5 сообществах) и *Artemisia terrae-albae* (в 4 сообществах).

Естественные ресурсы растительности пустынь Казахстана достаточно велики. Нами были выявлены хозяйственно-ценные виды: пастбищные и кормовые (36%), лекарственные (19%), сорные (12%), технические (10%), декоративные (9%), закрепители песков (7%), пищевые (7%). Преобладали пастбищные и кормовые виды (36%).

This study is funded by the Asian Forest Cooperation Organization (AFoCO) (research project: AFoCO/020/2020).

References

1. Waltham T., Sholji I. The demise of the Aral Sea – An environmental disaster // *Geology Today*. 2001. 17 (6). P. 218-228. – <https://doi.org/10.1046/j.0266-6979.2001.00319.x>
2. Kuldashева Sh.A., Rustamova S.R. Features of the ecological situation on the dried bottom of the Aral Sea: stabilization of movable sands // Collections of NITS sociosphere conferences. 2015. № 8. P. 18-20.
3. Novikova N.M. Ecological and geographical aspect of the Aral crisis. Part 3. Study of the dynamics of natural complexes of the Aral Sea region // *Ecosystems: ecology and dynamics*. 2021. Vol. 5, No. 3. S. 60-155.
4. Green Book of the Republic of Kazakhstan. List of unique plant communities of Kazakhstan. R&D report. Edited by Academician I.O. Baitulin. Alma-Ata: 2007. 296 p.
5. Gvozdetsky N.A., Nikolaev V.A. Kazakhstan. Sketch of nature. Moscow, Mysl Publ., 1971. 296 p.
6. Botanical Geography of Kazakhstan and Central Asia (within the Desert Zone) (2003) // edited by E.I. Rachkovskaya, E.A. Volkova, V.N. Khramtsov. Monograph. St. Petersburg: Boston-Spectrum, 424 p. ISBN: 5-201-11116-5
7. Weather schedule. [Electronic resource]; URL: <https://rp5.ru> (accessed: 28.11.2022). – Access mode: free. – Title from the screen
8. Explanatory note to the materials of the state forest cadastre and the cadastre of specially protected forest areas of the forest fund of the Republic of Kazakhstan as of January 1, 2021. Almaty: 2021, 139 p.
9. Flora of Kazakhstan. A.P. Gamayunova, K.V. Dobrokhotova, N.M. Kuznetsov, N.V. Pavlov [et al.]. Volume 1. Alma-Ata: AN Kaz. SSR, 1956. 373 p.

10. Флора Казахстана / Ред. Н.В. Павлов. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1958. Т. 2. 305 с.
11. Флора Казахстана / Ред. Н.В. Павлов. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1960. Т. 3. 476 с.
12. Флора Казахстана / Ред. Н.В. Павлов. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1961. Т. 4. 571 с.
13. Флора Казахстана / Ред. Н.В. Павлов. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1961. Т. 5. 528 с.
14. Флора Казахстана / Ред. Н.В. Павлов. Алма-Ата: Академия наук Казахской ССР, 1963. Т. 6. 486 с.
15. Растения и лишайники России и сопредельных стран: Открытый онлайн-атлас и определитель растений. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plantarium.ru> (дата обращения: 15.08.2022).
16. WFO. World Flora Online. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldfloraonline.org>. (дата обращения: 12.06.2022).
17. Красная книга Казахстана. Изд. 2-е, перераб. и доп. Т. 2. Растения. Астана: AprPrintXX, 2014. 452 с.
18. **Быков Б.А.** Геоботанический словарь. Алма-Ата: Наука, 1973. 216 с.
19. **Быков Б.А.** Геоботаника. Алма-Ата: «Наука», Казахская ССР, 1978. 288 с.
20. **Ипатов В.С., Мирин Д.М.** Описание фитоценоза: Методические рекомендации. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург, 2008. 71 с.
21. **Федоров А.И.** Методы математической статистики в биологии и опытным деле. Алма-Ата: Казгосиздат, 1957. 152 с.
22. **Анучин Н.П.** Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
23. **Кубакова К.К.** Физико-географические особенности пустыни Кызылкум / Ортикова Л.С., Алимов Ш.С., Худойбердиева Х.А. // Путь науки. 2019. № 11 (69). С. 16-18.
24. **Хасанов Ф.О., Шомуратов Х.Ф., Кадыров Г.** Краткий очерк и анализ эндемизма флоры пустыни Кызылкум // Ботанический журнал. 2011. Т. 96, № 2. С. 237-245.
25. **Курочкина Л.Я.** Псаммофильная растительность пустынь Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1978. 272 с.
10. Flora of Kazakhstan / ed. by N.V. Pavlov. Volume 2. Alma-Ata: AN Kaz. SSR, 1958. 305 p.
11. Flora Kazakhstan / ed. by N.V. Pavlov. Alma-Ata: AN Kaz. SSR, 1960. Tom 3. 476 s.
12. Flora Kazakhstan / ed. by N.V. Pavlov. Alma-Ata: AN Kaz. SSR, 1961. Tom 4. 571 s.
13. Flora Kazakhstan / ed by N.V. Pavlov. Alma-Ata: AN Kaz. SSR, 1961. Tom 5. 528 s.
14. Flora Kazakhstan / ed. by N.V. Pavlov. Alma-Ata: AN Kaz. SSR, 1963. Tom 6. 486 s.
15. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: an open online atlas and guide to plants. [Electronic resource]; URL: <https://www.plantarium.ru> (accessed: 15.08.2022). – Access mode: free. – Title from the screen
16. WFO (2023): World Flora Online. [Electronic resource]; URL: <http://www.worldfloraonline.org>. (accessed: 12.06.2022). – Access mode: free. – Title from the screen
17. Red Book of Kazakhstan. Ed. 2nd, rev. and add. Vol. 2: Plants. Astana: AprPrintXX, 2014. 452 p.
18. **Bykov B.A.** Geobotanical Dictionary. Alma-Ata: Nauka, 1973. 216 p.
19. **Bykov B.A.** Geobotany. Alma-Ata, 1978. 288 p.
20. **Ipatov V.S., Mirin D.M.** Description of phytocenosis: Methodological recommendations. Teaching aid. St. Petersburg: 2008. 71 p.
21. **Fedorov A.I.** Methods of Mathematical Statistics in Biology and Experimental Business. Alma-Ata: Kazgosizdat, 1957. 152 p.
22. **Anuchin N.P.** Forest taxation. Moscow: Forest industry. 1982. 552 p. Anuchin N.P.
23. **Kubakova K.K.** Physico-geographical features of the Kyzylkum desert / Ortikova L.S., Alimov Sh.S., Khudoiberdieva Kh.A. The Way of Science. 2019. № 11(69). P. 16-18.
24. **Khasanov F.O., Shomuradov Kh.F., Kadyrov G.** Brief essay and analysis of endemism of the flora of the Kyzylkum desert // Botanical journal. 2011. V. 96. No. 2, P. 237-245.
25. **Kurochkina L.Y.** Psammophilic vegetation of the deserts of Kazakhstan. Alma-Ata: Nauka, 1978. 272 p.

Об авторах

Яна Алексеевна Крекова, канд. с.-х. наук, PhD, заведующий отделом селекции; Researcher-ID: AGW-9577-2022, Scopus: 57224909909, ORCID: 0000-0002-9074-848X; yana24@mail.ru

Александр Викторович Кердяшкин, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000-0003-2592-2397; atamo@mail.ru

Екатерина Петровна Вибе, канд. с.-х. наук, PhD, заведующий отделом лесоведения и защиты леса; ORCID: 0000-0003-1458-5217; wiebe_k@mail.ru

Author information

Yana A. Krekova, Candidate of Sciences in Agriculture, PhD, Head of the Breeding Department; Researcher-ID: AGW-9577-2022, Scopus: 57224909909, ORCID: 0000-0002-9074-848X; yana24@mail.ru

Alexandr V. Kerdyashkin, Candidate of Sciences in Agriculture, leading researcher; ORCID: 0000-0003-2592-2397; atamo@mail.ru

Ekaterina P. Vibe, Candidate of Sciences in Agriculture, PhD, Head of the Department of Forestry and Forest Protection; ORCID: 0000-0003-1458-5217; wiebe_k@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Крекова Я.А., Кердяшкин А.В., Вибе Е.П. 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 Interest

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

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors have contributed equally to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.05.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.11.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 18.11.2023

Krekova Y.A., Kerdyashkin A.V., Vibe E.P. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright for the article and are responsible for plagiarism

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-137-143>

УДК 630.232:634.237



ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА *LARICS SIBIRICA* В ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ НА ЮЖНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ

П.Н. Проездов^{1✉}, Д.В. Есков¹, А.В. Розанов¹, С.В. Свиридов²

¹«Вавиловский университет»; 410012, г. Саратов, пр-кт Петра Столыпина, 4, стр. 3, Россия

²ФНЦ агроэкологии РАН; 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97, Россия

Аннотация. Установление закономерностей роста 57-летних лиственницы сибирской и ясеня ланцетного в противоэрозионных лесных полосах явилось целью исследований. Насаждения изучались методами лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 и учебному пособию, изданному в Санкт-Петербургском лесотехническом университете. Применялись также частные методики К.К. Высоцкого, С.С. Пятницкого. Экспериментами установлен опережающий рост лиственницы (главная порода) и ясеня (сопутствующая порода) в стокорегулирующей лесной полосе, усиленной водозадерживающим валом, по сравнению с приовражной за счет поверхностного стока, накапливаемого в пруду вала. Показатель напряженности роста лиственницы увеличивается с возрастом на $2,95 \text{ см/см}^2$, а продуктивность камбия снижается в стокорегулирующей лесной полосе на $0,9 \text{ дм}^3/\text{м}^2$, в приовражной соответственно на $3,40 \text{ см/см}^2$ и $0,73 \text{ дм}^3/\text{м}^2$, что связано с меньшим содержанием влаги в почве. В приовражной лесной полосе почвенные запасы влаги за многолетний период наблюдений в среднем составили 49,0-61,1% наименьшей влагоемкости, в стокорегулирующей с валом – 56,7-72,3%, что дополнительно накопило 34,2-49,7 мм влаги в слое 1,5 м почвогрунта. Бонитет лиственницы при усилении лесной полосы валом на 1 класс превышает бонитет приовражной полосы. Следует отметить, что лиственница сибирская – более высокопродуктивная порода по сравнению с дубом черешчатым на 1-2 класса бонитета в идентичных условиях с почвами на опоке согласно ранее (2021 г.) опубликованным нашим данным. Коэффициенты детерминации связи роста в высоту лиственницы сибирской, произрастающей в стокорегулирующей и приовражной лесных полосах, от показателей возраста, напряженности роста, продуктивности камбия составляют 0,92-0,98, что указывает на тесную взаимосвязь. Лиственница сибирская, как главная порода, рекомендуется в защитных лесных насаждениях, особенно на коренных породах.

Ключевые слова: чернозем южный на опоке, лесные полосы, лиственница сибирская, яшень ланцетный, лесоводственно-таксационные показатели, регрессия

Формат цитирования: Проездов П.Н., Есков Д.В., Розанов А.В., Свиридов С.В. Закономерности роста *Larics sibirica* в противоэрозионных лесных полосах на южном черноземе // Природообустройство. 2024. № 1. С. 137-143. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-137-143>

Original article

REGULARITIES OF THE GROWTH OF *LARICS SIBIRICA* IN ANTI-EROSION FOREST STRIPS ON THE SOUTHERN CHERNOZEM

P.N. Proezdov^{1✉}, D.V. Eskov¹, A.V. Rozanov¹, S.V. Sviridov²

¹Vavilovsky University, 1a, Theater Square, Saratov, 41001. Russia

²FRC of Agroecology of the RAS, 97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062. Russia

Abstract. The purpose of the study was to establish the growth patterns of 57-year-old Siberian larch and lanceolate ash in anti-erosion forest strips. Plantings were studied by methods of forest taxation according to OST 56-69-83 and the textbook S-PB of the Forestry University. Private methods of K.K. Vysotsky and S.S. Pyatnitsky were also used. Experiments have established the outstripping growth of larch (the main breed) and ash (the accompanying breed) in the flow-regulating forest strip, reinforced with a water-retaining rampart, compared with the near-drainage due to surface runoff accumulated in the rampart pond. The growth intensity index of larch increases with age by 2.95 cm/cm^2 , and the productivity of cambium decreases in the runoff-regulating forest strip by $0.9 \text{ dm}^3/\text{m}^2$.

in the by-ravine by 3.40 cm/cm² and 0.73 dm³/m², respectively, which is associated with a lower moisture content in the soil. In the by-ravine forest strip, soil moisture reserves for the long-term observation period averaged 49.0-61.1% of the lowest moisture capacity, in the runoff control zone with a rampart – 56.7-72.3%, which additionally accumulated 34.2-49.7 mm of moisture in 1.5 m of soil layer. The bonitet of larch when the forest strip is strengthened by a rampart exceeds the bonitet of the by-ravine strip by 1 class. It should be noted that Siberian larch is a more highly productive species compared to pedunculate oak by one or two classes of bonitet in identical conditions with soils on the flask (previously published by us, 2021). The coefficients of determination of the relationship between the growth in height of Siberian larch growing in the flow-regulating and by-ravine forest strips, from the indicators of age, growth intensity, productivity of cambium are 0.92-0.98, which indicates a close relationship. Siberian larch, as the main species, is recommended in protective forest stands, especially on bedrock.

Keywords: southern chernozem on the flank, forest strips, Siberian larch, lanceolate ash, forestry and taxation indicators, regression

Format of citation: Proezdov P.N., Eskov D.V., Rozanov A.V., Sviridov S.V. Regularities of the growth of *Larics sibirica* in anti-erosion forest strips on the southern chernozem // Prirodouostrojstvo. 2024. No 1. P. 137-143. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-137-143>

Введение. Лиственница сибирская (*Larics sibirica* Ledeb., 1833) является перспективной породой, которая вполне может применяться в степном и лесостепном защитном лесоразведении, в лесных культурах [1-5]. Высокая продуктивность лиственницы на эродированных неполноразвитых щебенчатых почвах, подстилаемых опоккой с мощностью горизонтов А + В < 0,5 м, позволяет внедрять ее как главную породу вместо дуба черешчатого, березы повислой в противоэрозионных лесных полосах [6]. Математическое моделирование таксационных показателей древостоев лиственницы сибирской показало, что оптимальные условия для роста насаждений складываются в свежих дубравах (Д₂) с запасом древесины в 85 лет 377 м³/га. Максимум среднего годового прироста запаса в возрасте составляет 30-40 лет до 6,21 м³/га. Большая часть насаждений, в том числе защитных, расположена на С₂ с приростом 4,35 м³/га [5]. Отмечается позитивное воздействие корнедоступных грунтовых вод на продуктивность березы, тополя и лиственницы к 40-летнему возрасту лесных полос, причем с лучшими показателями бонитета у лиственницы. При глубоких грунтовых водах (>5 м) лиственные породы сокращают длительность жизненного цикла, а лиственница продолжает достаточно интенсивно прирастать в высоту [1, 2].

Актуальность внедрения лиственницы сибирской в защитное лесоразведение очевидна: создание постоянных семенных плантаций породы в комбинации с лесными питомниками в степной зоне РФ позволит обеспечить организацию выращивания селекционно-улучшенного посадочного материала [1]. Особенности роста и развития лиственницы сибирской в степной и лесостепной зонах определяет гидротермический

коэффициент как соотношение осадков и температурного режима воздуха в период вегетации породы [3, 4]. Во многом рост и состояние лиственницы сибирской зависят от применяемой схемы смешения, выбора сопутствующей породы и современных агротехнических и лесоводственных мер ухода в защитных насаждениях [1, 2, 5].

Цель исследований: выявление закономерностей роста лиственницы сибирской в противоэрозионных лесных полосах степи Приволжской возвышенности.

Материалы и методы исследований. Опыт проводился на южном склоне крутизной 4,5° в степи Приволжской возвышенности в хозяйстве «Вязовский» Татищевского района Саратовской области (рис. 1). Почва – чернозем южный среднесмыгтый, среднесуглинистый, хрящевато-щебенчатый, с А + В < 0,5 м на опоке.

Задачи исследований:

- определение лесоводственно-таксационных характеристик древесных пород в противоэрозионных лесных полосах;
- определение показателей напряженности роста, продуктивности камбиальной ткани лиственницы в стокорегулирующей и приовражной лесных полосах;
- получение регрессионных уравнений роста лиственницы сибирской в лесных полосах.

Научно-производственный противоэрозионный стационар включает в себя стокорегулирующую лесную полосу (ЛП), усиленную водозадерживающими валами, и приовражную ЛП. Межполосное пространство осваивалось под кормовые севообороты (1964-1972 гг.), полевые севообороты (1973-2001 гг.) и пастбищеобороты (2002-2022 гг.). В 2005, 2008, 2013, 2019, 2022 гг. пастбищеоборот прерывался выращиванием подсолнечника на зерно (табл. 1, рис. 1).

При проведении исследований использованы принципы организации теории и практики классического лесоведения, агролесомелиорации, лесной таксации, стандартных и частных методов планирования и проведения экспериментов. Пробные площади закладывались согласно ОСТ 56-69-83 [7] с использованием модельных деревьев по методике Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова [8].

Зависимость средней высоты лиственницы от возраста получена по ростовой функции А. Митчерлиха:

$$H = a_1 \cdot [1 + \xi \cdot \exp(-a_2 \cdot \{t - a_3\})]^{-1/\xi}, \quad (1)$$

где H – высота лиственницы, м; a_1, a_2, a_3 – параметры S-образной кривой; t – возраст лиственницы, лет; ξ – степень кривизны кривой.

Здесь a_1 – предельное значение высоты лиственницы, при которой древостой прекращает прирост и отмирает; a_2 – наклон кривой роста в ее центральной части, определяемый скоростью прироста; a_3 – начало роста по шкале времени; ξ – параметр, определяющий положение точки перегиба на центральной части кривой роста.

Если точка перегиба находится в центре линейной части кривой роста, то $\xi = 1$.

Идентификация и подгонка величин параметров S-образной кривой (a_1, a_2, a_3, x), аппроксимирующей зависимость средней высоты лиственницы H от времени t , производились на основе минимизации сумм квадратов отклонений реальных и модельных значений высоты H средствами специальной надстройки «Поиск решения» табличного процессора MS Excel с использованием эволюционного алгоритма нелинейной оптимизации.

По методике К.К. Высоцкого определяли показатель напряженности роста древесной породы в насаждении по формуле [9]:

$$P = 4H/\pi D^2, \quad (2)$$

где P – показатель напряженности роста лиственницы сибирской в противоэрозионных лесных полосах, см/см²; H – высота лиственницы, см; D – диаметр лиственницы, см; $\pi = 3,14$.

Продуктивность камбия определяли, исходя из методики С.С. Пятницкого [10], по предложенной нами зависимости, когда отклонение результатов вычислений по обеим формулам не превышает 10% [6]:

$$K = 1,68h + 3,65d - 0,05, \quad (3)$$

где K – продуктивность камбия, то есть отношение прироста древесины по объему за некоторый период времени к площади поверхности камбиальной ткани, дм³/м²; h – средний прирост по высоте, м; d – средний прирост по диаметру, см.

Экспериментальные данные обрабатывались по методике Б.А. Доспехова [11] с использованием компьютерных программ Statistica, SciLab и «Пакет анализа» табличного процессора MS Excel.

Результаты и их обсуждение. На рост и развитие древесных пород в защитных лесных насаждениях, в частности, лиственницы сибирской, влияют многие природно-климатические (осадки, температура, влажность почвы и др.) и антропогенные факторы (лесные полосы, водозадерживающие валы, агротехнические и лесоводственные меры ухода).

Совокупность всех природно-антропогенных факторов представляет собой многомерную гиперповерхность, детальное исследование

Таблица 1. Лесоводственно-таксационное описание лесных полос (2021 г.)

Table 1. Forestry-taxation description of forest strips (2021)

Лесная полоса <i>Forest strip</i>	Ширина ЛП, м <i>Width of FS, m</i>	Количество рядов <i>Number of rows</i>	Ширина между-рядий, м <i>Width between rows, m</i>	Схема смещения (с верхней опушки) <i>Mixing scheme (from the top edge)</i>	Порода <i>Species</i>	Показатели / <i>Indicators</i>			
						возраст, лет <i>age, years</i>	средний диаметр, см <i>average diameter, cm</i>	средняя высота, м <i>average height, m</i>	Бонитет <i>Bonitet</i>
Стокорегулирующая ЛП с валами <i>Flow control FS with ramparts</i>	19,5	13	1,5	Лу-Яб-Лс-Ял-Лс-Ял-	Лс	57	29,1	19,8	1
				Лс-Ял-Лс-Ял-Лс-Ял-Бк	Ял	57	20,2	17,9	2
Приовражная ЛП без вала <i>By-ravine FS without a rampart</i>	19,5	13	1,5	Лу-Яб-Лс-Ял-Лс-Ял-	Лс	57	26,1	18,4	2
				Лс-Ял-Лс-Ял-Лс-Ял-Бк	Ял	57	18,7	16,5	3

Примечание: Лу- лох узколистный, Яб-яблоня лесная, Лс-лиственница сибирская, Ял-ясень ланцетный, Бк- бузина красная.

Note: Лу – narrow-leaved, Яб – forest apple tree, Лс – Siberian larch, Ял-Lanceolate ash, Бк – red elderberry.

которой затруднено сложностью ее структуры. Для выявления основных закономерностей роста лиственницы сибирской в противоэрозийных лесных полосах степи Приволжской возвышенности использована линейная регрессионная математическая модель, которая позволяет учитывать воздействие на рост лиственницы наиболее значимых из указанных факторов, а именно диаметра D , показателя напряженности роста P , продуктивности камбия K :

$$H = b_0 + b_1D + b_2P + b_3K, \quad (4)$$

где H – средняя высота лиственницы сибирской, м; D – средний диаметр лиственницы на высоте груди, см; P – показатель напряженности роста, см/см²; K – продуктивность камбия, дм³/м²; b_0 - b_3 – коэффициенты множественной регрессии.

С математической точки зрения геометрическим образом регрессионного уравнения (4) является четырехмерное многообразие,

отображение которого на плоскости возможно только с помощью трехмерных сечений. Эти сечения, построенные по фактическим данным таблицы 2, представлены на рисунках 2 и 3 вместе с соответствующими уравнениями регрессии. Коэффициенты детерминации составляют соответственно 0,92 и 0,98, что показывает тесную взаимосвязь указанных на рисунках 2, 3 переменных.

Показатель напряженности роста у лиственницы в стокорегулирующей лесной полосе с валом с увеличением возраста повышается на 2,95 см/см², а продуктивность камбия снижается на 0,9 дм³/м², в приовражной лесной полосе – соответственно на 3,40 см/см² и 0,73 дм³/м² (табл. 2).

Анализ возрастного изменения средней высоты лиственницы сибирской и ясеня ланцетного показал опережающий рост обеих древесных пород в стокорегулирующей лесной полосе в сравнении с приовражной лесной полосой: в возрасте

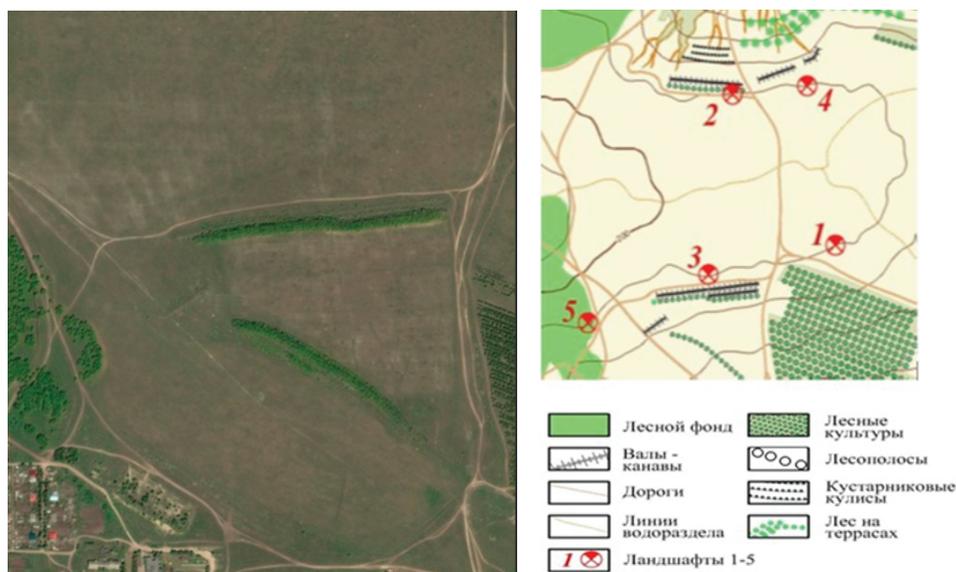


Рис. 1. Космоснимок и схема опыта в хозяйстве «Вязовский»

Fig. 1. Satellite image and diagram of the experiment at the Vyazovsky farm

Таблица 2. Таксационные показатели лиственницы в лесных полосах в разном возрасте

Table 2. Taxational indicators of larch in forest strips at different ages

Лесная полоса <i>Forest strip</i>	Возраст, лет <i>Age, years</i>	Среднее / <i>Average</i>				P	K
		D	d	H	h		
Стокорегулирующая с валом <i>Flow regulating with a rampart</i>	57	29,1	0,51	19,8	0,35	2,98	2,40
	31	18,6	0,60	9,8	0,32	0,04	2,68
	6	5,1	0,85	0,9	0,15	0,03	3,30
Приовражная без вала <i>By-ravine without a rampart</i>	57	26,1	0,46	18,4	0,32	3,44	2,17
	31	16,8	0,54	8,3	0,27	0,05	2,37
	6	4,6	0,76	0,7	0,11	0,04	2,90

Примечание: D – диаметр, см; d – прирост по D, см/год; H – высота, м; h – прирост по H, м/год; P – показатель напряженности роста, см/см²; K – продуктивность камбия, дм³/м².

Note: D – diameter, cm; d – increase in D, cm/year; H – height, m; h is the increase in H, m/yr; P is the growth intensity indicator, cm/cm²; K – cambium productivity, dm³/m².

6 лет – на 28,6 (по лиственнице) и 7,7% (по ясеню); в возрасте 31 года – соответственно на 10,1 и 7,1%; в возрасте 57 лет – на 7,6 и 8,5%. Высота лиственницы, как главной породы в обеих лесных полосах, на 92 и 94% связана с возрастом (табл. 3, рис. 4).

Бонитет лиственницы и ясеня в стокорегулирующей лесной полосе на класс выше, чем

в приовражной (табл. 1): опережающий рост обеспечен за счет усиления стокорегулирующей лесной полосы водозадерживающим валом, что дает дополнительное влагообеспечение тальми и ливневыми водами (табл. 4, рис. 1).

Пресные грунтовые воды расположены на коренедоступной глубине (уровень капиллярной зоны более 6 м). В результате

Таблица 3. Рост в высоту (м) лиственницы сибирской и ясеня ланцетного на южном черноземе

Table 3. Height growth (m) of Siberian larch and lanceolate ash on southern chernozem

Лесная полоса <i>Forest strip</i>	Древесная порода <i>Tree species</i>	Годы таксации лесных полос <i>Years of taxation of forest strips</i>					
		1965	1970	1976	1995	2007	2021
Стокорегулирующая с валом <i>Flow regulating with a rampart</i>	Лиственница / <i>Larch</i>	0	0,9	4,9	9,8	14,7	19,8
	Ясень / <i>Ash</i>	0	1,4	6,9	9,0	13,2	17,9
Приовражная без вала <i>By-ravine without a rampart</i>	Лиственница / <i>Larch</i>	0	0,7	3,7	8,9	13,8	18,4
	Ясень / <i>Ash</i>	0	1,3	6,1	8,4	11,9	16,5

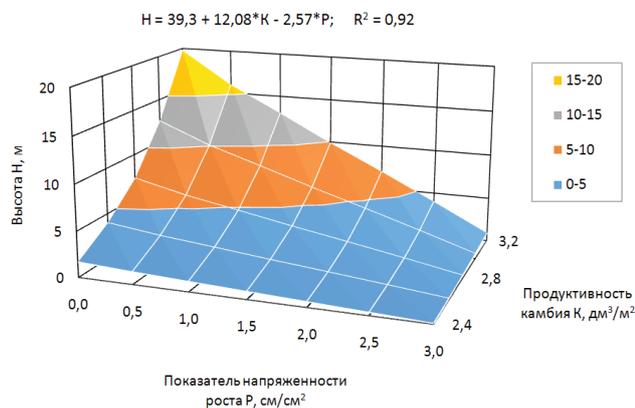


Рис. 2. Зависимость высоты лиственницы сибирской от показателя напряженности роста и продуктивности камбия в стокорегулирующей лесной полосе

Fig. 2. Dependence of the height of Siberian larch on the index of growth intensity and productivity of cambium in the flow-regulating forest strip

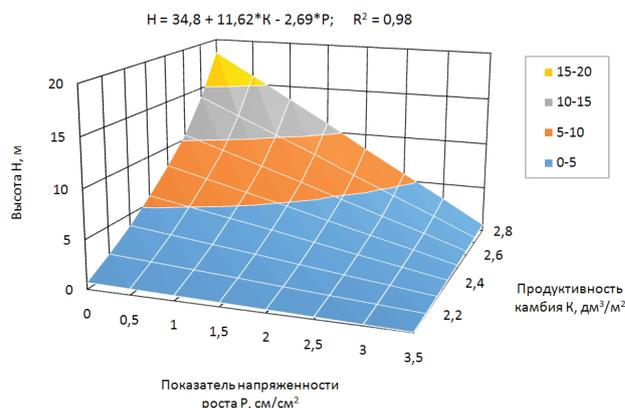


Рис. 3. Зависимость высоты лиственницы сибирской от показателя напряженности роста и продуктивности камбия в приовражной лесной полосе

Fig. 3. Dependence of the height of Siberian larch on the index of growth intensity and productivity of cambium in the by-ravine forest strip

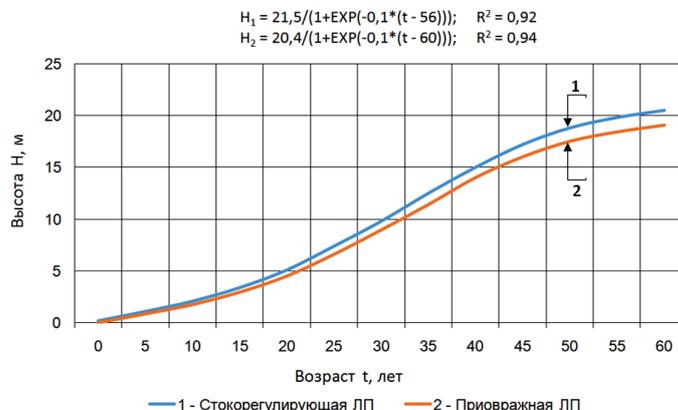


Рис. 4. Аппроксимация хода роста в высоту лиственницы сибирской в стокорегулирующей (1) и приовражной лесных полосах (2)

Fig. 4. Approximation of the growth rate in height of Siberian larch in flow-regulating (1) and by-ravine forest strips (2)

многолетнего анализа влагозапасов в почвогрунтах показано, что удержание поверхностного стока валом позволяет накопить в стокорегулирующей лесной полосе влаги на 34,2-49,7 мм больше, чем в приовражной (табл. 4, рис. 1). Средние запасы влаги приведены на основании бурения скважин, причем росту и развитию лиственницы предшествовали различные сочетания погодных условий: многоснежные и малоснежные зимы, влажные и сухие вегетационные периоды.

Отмечается большее значение бонитета у лиственницы сибирской (57 лет) по сравнению с дубом черешчатым (55 лет) в идентичных условиях произрастания (C_1) на среднесмыглых

южных черноземах, подстилаемых опоккой, с $A + B < 0,5$ м [6]. Для обеих пород характерно положительное влияние водозадерживающего вала на продуктивность.

Результаты исследований защитных насаждений с участием лиственницы внедрены в хозяйствах Татищевского, Красноармейского районов Саратовской области, расположенных в степи Приволжской возвышенности на эродированных склонах с главной породой – лиственницей сибирской – на площади 23 га, защищающих 522 га сельскохозяйственных угодий. Лесистость угодий составила 4,4%, позволив повысить продуктивность угодий до 45%.

Таблица 4. Динамика влагозапасов в почвогрунтах под лесными полосами (в среднем за годы исследований)

Table 4. Dynamics of moisture reserves in soils under forest strips (average over the years of study)

Наименование лесной полосы с главной породой лиственницей сибирской <i>Name of the forest strip with the main species Siberian larch</i>	Запасы влаги в слое 1,5 м, % наименьшей влагоемкости <i>Moisture reserves in a layer of 1.5 m, % of the lowest moisture capacity</i>		
	на 15 мая <i>on May 15</i>	на 15 июля <i>on July 15</i>	на 15 августа <i>on August 15</i>
Стокорегулирующая с водозадерживающим валом <i>Flow regulating with a water retention rampart</i>	72,3	61,2	56,7
Приовражная без вала / <i>By-ravine without a rampart</i>	61,1	52,1	49,0

Примечание: Влагозапасы в слое 1,5 м: наименьшая влагоемкость (НВ), $W_{НВ} = 444$ мм; влажность завядания (ВЗ), $W_{ВЗ} = 213$ мм; $BZ = 0,48$ НВ.

Note: Moisture reserves in the 1.5 m layer: lowest moisture capacity (НВ), $W_{НВ} = 444$ mm; wilting humidity $W_{ВЗ} = 213$ mm; $VZ = 0.48$ НВ.

Выводы

Анализ динамики роста лиственницы сибирской указывает на тесную связь между высотой главной древесной породы в лесных полосах с возрастом, показателем напряженности роста и продуктивностью камбия при коэффициентах

детерминации 0,92-0,98. Многолетние исследования закономерностей роста лиственницы сибирской и ее сопутствующей породы – ясеня ланцетного – позволяют рекомендовать их для применения на эрозионно опасных склонах в защитных лесных насаждениях.

Список использованных источников

- Петелько А.И., Зеленьяк А.К. К вопросу внедрения лиственницы в защитное лесоразведение // Наука. Мысль: Электронный периодический журнал. 2017. Т. 7, № 8. С. 12-21.
- Симоненко А.П., Ключников М.В., Парамонов Е.Г. Лиственница в защитных лесных насаждениях степной зоны // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 7 (45). С. 23-28.
- Галдина Т.Е., Жиленкова Е.С. Культуры лиственницы сибирской в лесостепи и степи // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Воронеж, 2020. № 3 (50). С. 23-28.
- Галдина Т.Е. Особенности произрастания лиственницы в географических культурах центральной лесостепи // Успехи современного естествознания. 2018. № 11-2. С. 235-240. URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36932> (дата обращения: 08.09.2022).
- Пуряев А.С., Зарипов И.Н. Закономерности развития древостоев в культурах лиственницы сибирской Республики Татарстан // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес.

References

- Petelko A.I., Zelenyayak A.K. On the issue of introducing larch into protective afforestation // Nauka. Mysl: electronic periodical journal. 2017. V. 7. No. 8. P. 12-21.
- Simonenko A.P., Klyuchnikov M.V., Paramonov E.G. Larch in protective forest plantations of the steppe zone // Bulletin of the Altai State Agrarian University. No. 7 (45), 2008. P. 23-28.
- Galdina T.E., Zhilenkova E.S. Siberian larch cultures in the forest-steppe and steppe // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. – 2020. Voronezh. No. 3 (50). P. 23-28.
- Galdina T.E. Peculiarities of larch growth in geographic cultures of the central forest-steppe // Successes of modern natural sciences. 2018. No. 11-2. P. 235-240; URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36932> (date of access: 09/08/2022).
- Puryaev A.S., Zaripov I.N. Patterns of development of forest stands in larch cultures of the Siberian Republic of Tatarstan // Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management. 2019. No. 1 (41). P. 21-31. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.1.21

Экология. Природопользование». 2019. № 1 (41). С. 21-31. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.1.21.

6. Proezdov P.N., Eskov D.V., Mashtakov D.A., Avtonomov A.N., Rozanov A.V. Regularities of the Growth of Pedunculate Oak (*Quercus Robur* L., 1753) in the Protective Plantings of the Steppe and Forest-steppe of the Volga Upland. [Electronic resource], <https://www.researchsquare.com/researchers/preprints>, posted 10 Aug, 2021. DOI: doi.org/10.21203/rs.3.rs-773724/v1.

7. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустойчивые. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1984. 60 с.

8. Минаев В.Н., Леонтьев Л.Л., Ковязин В.Ф. Таксация леса: учебное пособие. СПб.: Лань, 2022. 204 с.

9. Высоккий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 181 с.

10. Пятницкий С.С. Вегетативный лес. М.: Сельхозиздат, 1963. 136 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по запросу, 2012. 352 с.

Об авторах

Петр Николаевич Проездов, д-р с.-х. наук, почетный работник ВПО РФ, профессор кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»; SPIN-код: 8889-6020, AuthorID: 415106; ORCID: 0000-0003-2718-3428, toxa_19@mail.ru

Дмитрий Владимирович Есков, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»; SPIN-код: 3970-3967, AuthorID: 320006; ORCID: 0000-0002-5240-9364, eskovdv@rambler.ru

Александр Владимирович Розанов, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Цифровое управление процессами в АПК»; SPIN-код: 5330-6012, AuthorID: 676173; ORCID: 000-0002-2144-4255, arosanov@yandex.ru

Сергей Владимирович Свиридов, младший научный сотрудник; SPIN-код: 6192-4997, AuthorID: 1171077; ORCID: 0000-0002-8885-9906, svsvms@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Проездов П.Н., Есков Д.В., Розанов А.В., Свиридов С.В. 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 / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors have contributed equally to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 19.05.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

6. Proezdov P.N., Eskov D.V., Mashtakov D.A., Avtonomov A.N., Rozanov A.V. Regularities of the Growth of Pedunculate Oak (*Quercus Robur* L., 1753) in the Protective Plantings of the Steppe and Forest-steppe of the Volga Upland. [Electronic resource], <https://www.researchsquare.com/researchers/preprints>, posted 10 Aug, 2021. DOI: doi.org/10.21203/rs.3.rs-773724/v1

7. ОСТ 56-69-83. The plots are trial forest management. Bookmark methods. М.: Publishing house of standards. 1984. 60 p.

8. Minaev V.N., Leontiev L.L., Kovyazin V.F. Forest inventory: a tutorial. St. Petersburg: Lan, 2022. 204 p.

9. Vysotsky K.K. Patterns of the structure of mixed forest stands. М., 1962. 181 p.

10. Pyatnitsky S.S. Vegetative forest. М., 1963. 136 p.

11. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results) // Moscow: Book on request, 2012. 352 p.

Author information

Pyotr N. Proezdov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the department "Forestry and landscape building", "Honorable worker of VPO RF"; SPIN code: 8889-6020, AuthorID: 415106; toxa_19@mail.ru

Dmitry V. Eskov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Forestry and landscape building"; SPIN code: 3970-3967, AuthorID: 320006; eskovdv@rambler.ru

Alexander V. Rozanov, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department "Digital processes management in AIC"; SPIN code: 5330-6012, AuthorID: 676173; ORCID: 000-0002-2144-4255; arosanov@yandex.ru

Sergey V. Sviridov, Junior Researcher\$ SPIN code: 6192-4997, AuthorID: 1171077; svsvms@mail.ru

Proezdov P.N., Eskov D.V., Rozanov A.V., Sviridov S.V. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have the copyright to the article and are responsible for plagiarism

Сообщение

В соответствии с письмом Председателя Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований В.А. Васильева информируем о ретрагировании статьи журнала «Природообустройство» в связи с выявлением факта некорректных заимствований.

Жарницкий В.Я., Смирнов А.П. Анализ долговечности инженерных барьеров безопасности из бетонитовых труб // Природообустройство.2020. № 4, С. 92-98. **ОТЗВАН/RETRACTED**
<http://elib.timacad.ru/dl/full/gmgup-13-2020-4.pdf/info>

Соответствующая информация направлена в Российский индекс научного цитирования и Ассоциацию научных редакторов и издателей (АНРИ) для внесения в базу данных ретрагированных статей.