

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

5' 2024

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

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



ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

5' 2024

Учредитель и издатель:**ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева**Адрес учредителя и издателя:
127434, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-58566 от 14 июля 2014 г.**Журнал включен в перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ
для публикации трудов соискателей
ученых степеней кандидата и доктора наук
**Издание включено в систему РИНЦ,
CrossRef, AGRIS (Agricultural
Research Information System),
КиберЛенинка (Open Science)**Полнотекстовые версии доступны на сайте
<http://elibrary.ru>
<https://environment.timacad.ru/jour>Редактор *В.И. Марковская*
Компьютерный набор и верстка –
А.С. Лаврова
Перевод на английский язык –
В.Г. Рябчикова
Ответственный за выпуск –
*Н.Я. Филатова*Адрес редакции: 127434, Москва,
Прянишникова ул., 14, строение 7-7А
Тел.: 8 (499) 976-36-67
Email: pririodamgur@mail.ru
Сайт: environment.elpub.ruОтпечатано в типографии
ООО «Офсет Принт»
127550, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 39, корп. 1
Тел: 8 (499) 976-24-85,
8 (916) 503-02-43Подписано в печать 14.12.24 г.
Формат 60 84/8, Тираж 500 экз.При использовании
материалов журнала в любой форме
ссылка на журнал обязательна.© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2024**Главный научный редактор****Журавлева Л.А.**, д-р техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Заместитель научного редактора****Бенин Д.М.**, канд. техн. наук, доцент, член-кор.
Российской академии водохозяйственных наук
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Члены редакционного совета****Алексеев А.С.**, д-р. геогр. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет имени С.М. Кирова,
(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)**Балабанов В.И.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Безбородов Ю.Г.**, д-р. техн. наук, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Брянская Ю.В.**, д-р. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (г. Москва, Российская Федерация)**Волосухин В.А.**, д-р. техн. наук, профессор
Академия безопасности гидротехнических сооружений
(г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Дубенок Н.Н.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Исмайлов Г.Х.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Кентбаев Е.Ж.**, д-р. с.-х. наук, профессор, Академик КазНАЕН
НАО «Казахский национальный исследовательский университет»
(г. Алматы, Республика Казахстан)**Кирейчева Л.В.**, д-р. техн. наук, профессор
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**Косиченко Ю.М.**, д. техн. наук, профессор
ФГБНУ РосНИИПМ (г. Новочеркасск, Российская Федерация)**Лисичкин С.Е.**, д-р. техн. наук, с.н.с.
Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (Москва, Российская Федерация)**Лихацевич А.П.**, д-р. техн. наук, член-кор. Академии Наук Белоруссии
Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»
(г. Минск, Республика Беларусь)**Матвеев С.М.**, д-р. биол. наук, профессор
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова
(г. Воронеж, Российская Федерация)**Мирзаев Б.С.**, д-р техн. наук, профессор
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(Ташкент, Узбекистан)**Михеев П.А.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Ольгаренко Г.В.**, д-р. с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения
и сельхозводоснабжения Радуга (г. Коломна, Российская Федерация)**Попов И.И.**, PhD, доцент
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Пчелкин В.В.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Раткович Л.Д.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Рубин О.Д.**, д-р. техн. наук, с.н.с.
АО «Институт Гидропроект» (Москва, Российская Федерация)**Ханов Н.В.**, д-р. техн. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Хлюстов В.К.**, д-р. с.-х. наук, профессор
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)**Худаев И.Ж.**, канд. техн. наук., доцент
НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
(г. Ташкент, Узбекистан)**Шевченко В.А.**, д-р. с.-х. наук, профессор, академик РАН
ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова (г. Москва, Российская Федерация)**ПОДПИСКА:**электронный каталог «Пресса России» <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/t80746/>

Цена подписная



ISSN 1997-6011

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

5' 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, 2014The journal is included in the list of publications
recommended by Higher Attestation Commission
of the Russian Federation for publishing papers
of those seeking PhD and DSc scientific degrees
**The issue is listed in the Russian Science
Citation Index, CrossRef,
AGRIS (Agricultural Research Information System),
Kiberleninka (Open Science)**Full versions are posted on the site
<http://elibrary.ru>
<https://environment.timacad.ru/jour>Editor *V.I. Markovskaya*Computer typesetting and makeup –
*A.S. Lavrova*Translation into English – *V.G. Ryabchikova*
Responsible for the issue of the journal –
*N.Ya. Filatova*Address of the editorial office:
building 7-7A, Pryanishnikova str., 14,
Moscow, 127434, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 976-36-67
Email: prirodangup@mail.ru
Website: environment.elpub.ruPrinted in typography
OOO "Offset Print"
127550, Moscow,
Dmitrovskoe shosse, 39, building 1
Tel.: +7 (499) 976-24-85,
+7 (916) 503-02-43Signed for print 14.12.24
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)**Bahadir S. Mirzaev**, DSci. (Eng), Professor
Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (Tashkent, Uzbekistan)**Pavel A. Mikheev**, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Gennadiy V. Olgarenko**, DSci. (Agr), Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences
All-Russian research institute of irrigation and agricultural water supply systems Raduga
(Kolomna, Russian Federation)**Ivan I. Popov**, PhD, Associate Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Victor V. Pchelkin**, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Lev D. Ratkovich**, Doctor of technical sciences, Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Oleg D. Rubin**, DSci. (Eng), Professor, Senior Researcher
Institute Hydroproject – "NIIES" (Moscow, Russian Federation)**Nartmir V. Khanov**, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Vitaly K. Khlyustov**, DSci. (Eng), Professor
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after C.A. Timiryazev (Moscow, Russian Federation)**Ibrakhim Zh. Khudaev**, CSci. (Eng), Associate Professor
National Research University "Tashkent institute of irrigation
and agricultural mechanization engineers" (Tashkent, Uzbekistan)**Victor A. Shevchenko**, DSci. (Agr), Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences
Federal Research Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (Moscow, Russian Federation)

Содержание

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Т.Е. Афонина, Е.А. Пономаренко, В.Ю. Просвирнин

Оценка качественного состояния бывших мелиорируемых земель для вовлечения их в сельскохозяйственный оборот на примере Иркутского района Иркутской области6

Н.С. Севрюгина, А.Ю. Фомин, А.С. Апатенко

Коллаборативные роботизированные средства экологического оздоровления водных объектов.....14

Ф.К. Абдразаков, А.А. Рукавишников, Э.Э. Сафин

Методы диагностики облицованных оросительных каналов21

В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Н.П. Попова

Азотный режим осваиваемых дерново-подзолистых почв Нечерноземья в зернопропашном плодосменном севообороте при разных системах удобрений и обработки28

О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов, А.С. Гузалов

Экспериментальные исследования возникновения очагов самовозгорания на торфяных почвах Тверской области.....37

Д.М. Бенин, Н.А. Мочунова, Ю.А. Широков

Технология производства мелиоранта почвы и оценка эффективности его применения43

Б.С. Мирзаев, В.И. Балабанов, А.А. Макаров

Улучшение агрофизических свойств почв глубоким рыхлением49

М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов

Метод и алгоритм расчета системы газолучистого отопления культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха.....57

И.Н. Гаспарян, Н.Ф. Денискина, О.Н. Ивашова, Ш.В. Гаспарян, А.Г. Левшин

Особенности применения в технологии возделывания картофеля натурального минерального комплекса.....65

Гидротехническое строительство

Н.В. Ханов, О.Н. Черных, С.Н. Щукин, Т.Ю. Жукова, Д.А. Алексеев

Результаты гидравлических исследований геоматов марки Энкамат А20 и Энкамат 7225, заполненных грунтом с посевом многолетних трав71

О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко, Я.Ю. Бурлаченко

Оценка гидродинамических нагрузок на плиты крепления водобоя мелиоративных гидроузлов80

Гидравлика и инженерная гидрология

А.А. Наумова, Т.В. Пилипенко К.Р. Пономарчук

Классификация и обзор конструктивных схем расходомеров с сужающими устройствами для открытых водотоков88

М.А. Ширяева

Обоснование границ зон санитарной охраны подземного водозабора городского округа Щелково Московской области96

Х. Исмаил, П.А. Михеев

Натурные исследования устройства для аэрации воды водохранилища «16 Тишрин» в Сирии 104

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

А.С. Ильинцев, Е.Н. Наквасина, А.П. Богданов

Влияние места посадки в микроповышениях на рост культур сосны и ели в таежной зоне 110

В.В. Кузьмичев, А.В. Лебедев

Предельная линия «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях 119

В.А. Савченкова, Т.Г. Махрова, Д.С. Степанова, В.Д. Пазавина

Опыт размножения *Catalpa bignonioides* walter. методом черенкования 127

Г.А. Демиденко

Применение зональной технологии при формировании рекреационных ландшафтов Красноярска и пригородных территорий 134

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

T.E. Afonina, E.A. Ponomarenko, V.Yu. Prosvirnin

Assessment of the qualitative condition of former reclaimed lands for their involvement in agricultural circulation, on the example of the Irkutsk district of the Irkutsk region6

N.S. Sevryugina A.Y. Fomin, A.S. Apatenko

Collaborative robotic means of ecological improvement of water bodies14

F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov, E.E. Safin

Diagnostic methods of lined irrigation canals21

V.A. Shevchenko, A.M. Solovyov, N.P. Popova

Nitrogen regime of the developed sod-podzolic soils of the Non-chernozem region in grain-tilling fruit-changing crop rotation under different systems of fertilization and cultivation28

O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, A.S. Guzalov

Experimental studies of the occurrence of spontaneous combustion centers on peat soils of the Tver region37

D.M. Benin, N.A. Mosunova, Yu.A. Shirokov

Technology of the production of soil ameliorant and assessment of the effectiveness of its application43

B.S. Mirzaev, V.I. Balabanov, A.A. Makarov

Improvement of agrophysical properties of soils by deep loosening49

M.V. Pavlov, D.F. Karpov

The method and algorithm for calculating the system of gas-radiant heating of a cultivation facility with preheating of the supply air57

I.N. Gasparyan, N.F. Deniskina, O.N. Ivashova, Sh.V. Gasparyan, A.G. Levshin

Features of application of natural mineral complex in potato cultivation technology65

Hydraulic engineering construction

N.V. Khanov, O.N. Chernykh, S.N. Shchukin, T.Y. Zhukova, D.A. Alekseev

Results of hydraulic studies of Enkamat A20 and Enkamat 7225 geomats filled with soil with perennial grass sowing71

O.N. Chernykh, A.V. Burlachenko, Ya.Yu. Burlachenko

Assessment of hydrodynamic loads on the slabs of the culvert fastening of reclamation waterworks80

Hydraulics and engineering hydrology

A.A. Naumova, T.V. Pilipenko, K.R. Ponomarchuk

Classification and review of flowmeter design schemes with constriction devices for open watercourses88

M.A. Shiryaeva

Substantiation of the sanitary protection zone boundaries of the groundwater intake in Shchelkovo urban district of Moscow region96

H. Ismaeil, P.A. Mikheev

Field studies of the water aeration device of the «16 Tishrin» Reservoir in Syria 104

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

A.S. Ilintsev, E.N. Nakvasina, A.P. Bogdanov

Influence of planting site in microelevations on the growth of pine and spruce crops in the taiga zone 110

V.V. Kuzmichev, A.V. Lebedev

Limit line “average diameter – average distance between trees” in stands 119

V.A. Savchenkova, T.G. Makhrova, D.S. Stepanova V.D. Pazavina

The breeding experience of *Catalpa bignonioides* walter. by the method of cutting 127

G.A. Demidenko

Application of zonal technology in the formation of recreational landscapes of Krasnoyarsk and suburban areas 134

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-6-13>

УДК 631.611(571.53)



ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЫВШИХ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ ИХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОГО РАЙОНА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.Е. Афонина [✉], Е.А. Пономаренко, В.Ю. Просвирнин

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского; 664038, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, 1/1, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценить качественный состав бывших осушаемых мелиорируемых земель в Иркутском районе Иркутской области и дать рекомендации по вовлечению этих земель в сельскохозяйственный оборот. Чтобы ввести в сельскохозяйственный оборот бывшие осушаемые, не используемые в настоящее время земли, необходимо провести оценку качественного состояния почв (физико-химические свойства почв, содержание органического вещества и основных элементов в почве, солевой состав и пр.) и оценить состояние осушительных каналов. В статье приведен анализ фактического материала бывших (ныне заброшенных) мелиорируемых земель в благоприятном для сельского хозяйства Иркутском районе, который расположен на юге Иркутской области. Материалом для исследований являлись почвенные образцы, отобранные на бывших осушаемых землях. Качественное состояние мелиорируемых земель исследовали по оценке изученности органического вещества и минерального состава почв, кислотности, засоленности. Аналитические исследования проводили согласно ГОСТ. Полученные результаты позволили сделать выводы о том, что ныне заброшенные земли относятся к высокопродуктивным – луговой чернозем с высоким содержанием органических веществ, обогащенный натрием, фосфором, калием, с низким содержанием гидрокарбонатов. Низкое содержание сульфатов и хлоридов указывает на то, что процесса засоления почв не наблюдается, за исключением 3 случаев, о которых сказано ниже. При проведении незначительных рекультивационных работ эти земли могут быть вовлечены в сельскохозяйственный оборот.

Ключевые слова: мелиорируемые земли, качественный состав, оценка, солевой состав, почвы, органическое вещество, осушаемые каналы, рекомендации, сельскохозяйственный оборот

Формат цитирования: Афонина Т.Е., Пономаренко Е.А., Просвирнин В.Ю. Качественный состав мелиорируемых земель в Иркутской области и рекомендации по их вовлечению в сельскохозяйственный оборот // Природообустройство. 2024. № 5. С. 6-13. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-6-13>

Original article

ASSESSMENT OF THE QUALITATIVE CONDITION OF FORMER RECLAIMED LANDS FOR THEIR INVOLVEMENT IN AGRICULTURAL CIRCULATION, ON THE EXAMPLE OF THE IRKUTSK DISTRICT OF THE IRKUTSK REGION

Т.Е. Afonina [✉], Е.А. Ponomarenko, V.Yu. Prosvirnin

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, 664038 Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village 1/1

Abstract. The purpose of the research is to assess the qualitative composition of former drained reclaimed lands in the Irkutsk district of the Irkutsk region and provide recommendations for the involvement of these lands in agricultural use. In order to bring formerly drained lands

into agricultural use, but currently not in use, it is necessary to assess the qualitative condition of the soils (physical and chemical properties of the soils, the content of organic matter and basic elements in the soil, salt composition, etc.) and the condition of the canals. The article provides an analysis of the factual material of former (now abandoned) reclaimed lands in the region favorable for agriculture – Irkutsk, which is located in the south of the Irkutsk region. The material for the study was soil samples taken from formerly drained lands. The qualitative condition of reclaimed lands was assessed by assessing the knowledge of organic matter and mineral composition of soils, acidity, and salinity. Analytical studies were carried out in accordance with GOST. The results obtained allowed us to conclude that the currently abandoned lands are highly productive – meadow chernozem with a high content of organic substances, enriched in sodium, phosphorus, potassium, low content of bicarbonates. The low content of sulfates and chlorides indicates that the process of soil salinization is not observed, with the exception of 3 cases, which are discussed below. With minor reclamation work, these lands can be involved in agricultural production.

Keywords: reclaimed lands, qualitative composition, assessment, salt composition, soils, organic matter, drained canals, recommendations, agricultural turnover

Format of citation: Afonina T.E., Ponomarenko E.A., Prosvirnin V.Yu. Assessment of the qualitative condition of former reclaimed lands for their involvement in agricultural circulation, on the example of the Irkutsk district of the Irkutsk region // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 6-13. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-6-13>

Введение. В современных условиях и в обстановке проводимых сельскохозяйственных реформ по улучшению и обеспечению качественным продовольствием населения регионов и страны в целом актуальными становятся мероприятия по восстановлению мелиоративного водохозяйственного комплекса и повышению эффективности использования мелиорированных земель. Решение вопросов вовлечения в сельскохозяйственный оборот ранее мелиорируемых, а теперь заброшенных земель остается актуальным и в Иркутской области. При вовлечении в сельскохозяйственный оборот таких земель важно оценить их качественный состав: содержание органического вещества в почве, азота, фосфора, калия (НПК) – и, что немало важно, оценить солевой состав почв. В Иркутской области за период «перестроечного» сельского хозяйства мелиорируемые сельскохозяйственные земли претерпели значительные изменения не в лучшую сторону. Произошли изменения качественного состава почв, характеризующиеся как засолением, так и закислением почв, заболачиванием, и как итог – их заброшенностью. Поэтому актуальной является современная фактическая оценка качественного состояния почв. Оценку качественного состояния бывших мелиорируемых земель проводили по содержанию органических и минеральных веществ в почвах, по их кислотности и солевому составу. Почвенные образцы отбирали в осушительных каналах.

Цель исследований: оценка качественного состояния бывших мелиорируемых земель для вовлечения их в сельскохозяйственный

оборот на примере Иркутского района Иркутской области.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследования являлись образцы почв. Станции для отбора почвенных образцов были заложены в Иркутском районе на двух ключевых участках, все профили отбора проб почв были заложены перпендикулярно осушительным каналам. Бывшие мелиорируемые земли представлены уже целиной, местами закоркарены и заболочены ввиду близости грунтовых вод.

Отбор почвенных образцов проводили согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 17.4.2.02-83 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [1].

Анализ почв на содержание минеральных и органических соединений, а также солевого состава почв осуществляли в Научно-испытательном центре ВГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского» согласно методическим указаниям и в соответствии с ГОСТ.

Влажность и кислотно-щелочные свойства почвы (рН) определяли в полевых условиях непосредственно при отборе проб. Для определения использовались рН-метр полевой и влагомер почвы (грунта) марки КВ-06. Диапазон измерения уровня кислотности почв – рН от 3 до 8, точность: +/- 0.3 рН. Диапазон измерения влажности грунта составлял 1-8 (10-80% RH).

Результаты и их обсуждение. В географическом положении район исследований расположен на полого-увалистой Иркутско-Черемховской равнине, расчлененной субмеридиональными долинами рек, падей на юрских и кембрийских породах с абсолютными отметками водораздельных поверхностей 600-630 м на северо-западе и до 740 м на юго-востоке. Иркутский район расположен на увалисто-холмистой равнине Кудинской депрессии – так же на юрских, кембрийских породах, осложненных кайнозойскими впадинами, на абсолютных отметках водораздельных поверхностей 720-740 м [2, 3].

Иркутско-Черемховская равнина – это развитый сельскохозяйственный район, где располагаются основные растениеводческие и животноводческие хозяйства Иркутской области. На территории Иркутского района выявлено 3999,80 га мелиорируемых земель, из них орошаемых – 1231,43 га, осушаемых – 2768, 37 га. Из этих земель сельскохозяйственного назначения на заброшенные осушаемые мелиорируемые земли сельскохозяйственного назначения приходится 700,01 га [4, 5].

На бывших мелиорируемых землях около населенного пункта Баруй в регулирующей открытой сети были заложены два профиля перпендикулярно осушительным каналам (1 и 2). Эта сеть систематически покрывает осушаемую территорию с расстоянием между осушителями 100 м. Водоприемник – река Бутулай.

Общая протяженность каналов на этом участке составляет 2018 м. Незначительная часть территории имеет закустаренность ивой козьей (*Salicaceae*), заочкаренность является редкой. Ширина каналов по бровке составляет

до 520 см, глубина – до 30 см, борта осыпаются (рис. 1). На этом участке был заложен поперечный профиль с 4 точками отбора проб. Микрорельеф профиля 1 (точки отбора проб 1-1, 1-2, 1-3, 1-4) представлен ровной поверхностью, из растительности доминирует лапчатка ползучая (*Rosaceae* Juss.), из других растений – мятлик луговой (*Poa pratensis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), лютик сибирский (*Ranunculus monophyllus*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*).

Почвы представлены луговыми черноземами, которые сформировались в результате эволюции болотных почв [6, 7]. Почвы имеют среднюю уплотненность, слабо выраженную структуру, механический состав – легкий суглинок. Содержание органического вещества в верхних горизонтах почв – 57,8-67,4%, в нижних горизонтах – 62,2-78,9%. Почвы обогащены высоким содержанием калия, в верхних горизонтах – от 683 до 138 мг/кг почвы, также довольно высоким является содержание фосфора – до 163,1 мг/кг почвы. В гумусовом горизонте почв pH – от очень кислой (3,5) до слабокислой (5,8); влажность – от 50 до 85%.

При вовлечении в сельскохозяйственный оборот заброшенных мелиорируемых земель (в нашем случае – осушаемых) важно знать степень их засоления и токсичность некоторых солей. Как правило, процесс засоления земель происходит в аридных климатических условиях и зависит от таких факторов, как состав почвообразующих пород, которыми являются гипс, доломит, бишофит, кальцит, магнезит и другие, и от механического состава почв (их проницаемости) [8]. Также антропогенное засоление почв

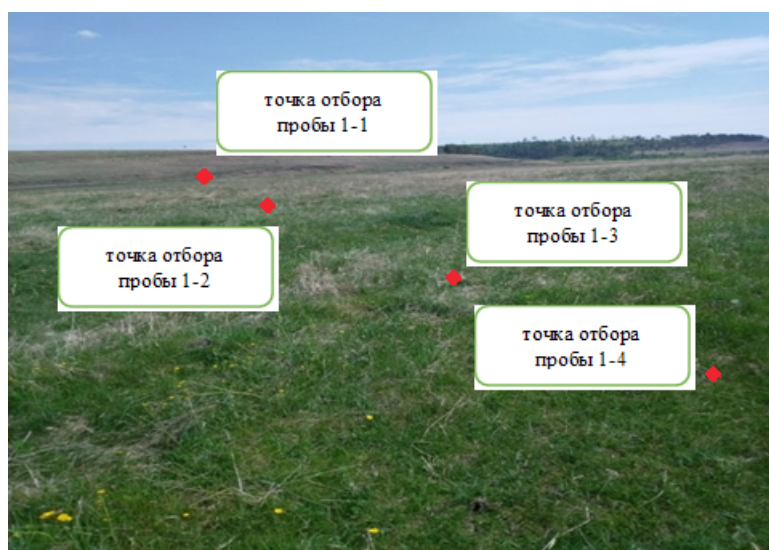


Рис. 1. Регулирующая открытая сеть в районе населенного пункта Баруй

Fig. 1. Regulatory open network in the area of the settlement of Baruy

обусловлено прекращением мелиоративных работ – таких, как осушение и орошение. Кроме того, возможно вторичное растворение солей почвообразующих подстилающих пород пресными грунтовыми водами (в нашем случае это заболачивание).

В таблице 1 приведена оценка степени засоления почв с учетом «суммарного эффекта» токсичных ионов по Базилович [9]. Как следует из данных таблицы, почвенные образцы из профилей 1, 1-1 и 1-2 являются незасоленными и слабозасоленными, отношение Cl/SO₄ мг-экв/100 г почвы указывает на их нетоксичность. Иное содержание солей в почвах наблюдается в горизонтах 1-5 см – в почвенных образцах профиля 11-3 и 1,4, где почвы сильнозасоленные. Точка 1-3 (образцы почв 1-5, 1-6) находится на расстоянии 750 м от т. 1 в северном направлении, микрорельеф – кочкарниковый; преобладает болотно-луговая растительность: осока (Cyperaceae), кубышка желтая, (Núphar lútea), лапчатка ползучая (Rosaceae Juss.), мятлик луговой (Poa praténsis). Отношение Cl/SO₄ мг-экв/100 г почвы также указывает на их нетоксичность.

Профиль 2 был заложен на противоположной стороне от профиля 1 через дорогу со стороны д. Баруй. Осушительный канал проходит параллельно грунтовой дороге, его ширина составляет 400 см, высота – 30 см. Он хорошо просматривается со стороны д. Баруй, а в северо-восточном направлении от д. Баруй трансформировался практически полностью, то есть осыпался и зарос. Этот профиль был заложен перпендикулярно

осушительному каналу. Точка 2.1 (проба 2-1) – микрорельеф равнинный, кочкарниковый, высота кочек составляет от 40 см, что затрудняет использование земель без коренного улучшения. Преобладает болотная растительность, видовой состав обеднен и представлен пыреем ползучим (Elytrígia répens) и осоковыми (Cyperáceae), встречается лапчатка ползучая (Rosaceae Juss.).

Точка 2.2 (проба 2-2) расположена в северо-восточном направлении на расстоянии 2000 м от точки 2.1. Возможно, точка 2.2 заложена в трансформированном канале. Преобладает болотная растительность, доминантными являются осоковые (Cyperáceae), также встречаются мятликовые (Gramíneae), лютик сибирский.

Точка 2.3 является аналогичной точке 2.1 по внешнему описанию. Содержание органического вещества в верхних горизонтах почвы колеблется от 57,2 до 84,0%, в нижележащем горизонте содержание Сорг – 82,6%. Содержание калия в почвах высокое и составляет от 267 до 557 мг/кг почвы. При этом самое высокое содержание калия наблюдается в почвах с минимальным значением Сорг. Также высоким является значение фосфора (109,4 мг/кг почвы), в целом составляя от 1,0 до 5,5 мг/кг почвы. Влажность составляет 60-70%, рН в профиле 2 нейтральный (от 6,5 до 6,9). Верхний горизонт почвы – точки 2-2 незасоленные, а содержание суммы солей анионов мг-экв/100 г почвы указывает на то, что почвы из точки 2-3 сильнозасоленные. Отношение Cl/SO₄ мг-экв/100 г показывает, что почвы являются нетоксичными.

Таблица 1. Оценка степени засоления почв по «суммарному эффекту токсичных ионов» на заброшенных мелиорируемых землях Иркутского района (д. Баруй. профиль 1)

Table 1. Assessment of the degree of soil salinization based on the “total effect of toxic ions” on abandoned reclaimed lands in the Irkutsk region (village of Baruy. profile 1)

Оценка степени засоления <i>Assessment of the degree of salinity</i>	Место проб <i>Sampling site</i>	№ пробы <i>Sample No</i>	Горизонт, см. <i>Horizon, cm</i>	Сумма солей анионов мг-экв/100 г почвы <i>Amount of anions salts mg-equiv / 100 g of soil</i>	Cl/SO ₄ мг-экв/100 г почвы <i>Cl / SO₄ mg-equiv / 100 g of soil</i>
Незасоленные / Non-salinized	Профиль 11-1 Баруй 1.1-1	1-1	1-5	0,74	0,44
		1-2	10-15	1,39	0,17
Слабозасоленные / Weakly salinized	1.1-2	1-3	1-5	1,70	0,14
Незасоленные / Non-salinized		1-4	10-15	0,74	0,52
Сильнозасоленные / Heavily salinized	1.1-3	1-5	1-5	3,51	0,13
Незасоленные / Non-salinized		1-6	15-20	1,10	0,23
Сильнозасоленные / Heavily salinized	1.1-4	1-7	1-5	3,82	0,04
Незасоленные / Non-salinized	Профиль 2 Баруй 2-1	2-1	1-5	0,98	0,31
Незасоленные / Non-salinized		2-2	2-2	1-5	1,43
Сильнозасоленные / Heavily salinized	2-3	2-3	1-5	4,02	0,18
Сильнозасоленные / Heavily salinized		2-4	10-15	3,15	0,05

Профиль 3 (точка 3.1, почвенные образцы 3-1 и 3-2) был заложен в местности д. Быково Иркутского района. Осушительный канал проходит вкрутовую поля, микрорельеф ровный, по центру поля – кочкарник (рис. 2).

Почва идентифицирована как луговой чернозем, механический состав – легкий суглинок. Влажность составляет 45%, pH – 7,0. Из растительности преобладают тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), герань полевая (*Geranium pratense*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), осока большехвостая (*Cyperaceae*), клубника (*Fragaria viridis*), подорожник средний (*Plantago media*).

В таблице 2 приведена оценка степени засоления почв по «суммарному эффекту токсичных ионов» на заброшенных

мелиорируемых землях Иркутского района в местности около д. Быково. Содержание органического вещества в верхнем горизонте почв высокое – 76,3%. Также этот горизонт обогащен калием (217,0 мг/кг почвы) и фосфором (38,4 мг/кг почвы), содержание Сорг составляет 84,5% из нижнего почвенного горизонта, этот горизонт содержит калия 34,0 мг/кг почвы и фосфор – 8,0 мг/кг почвы. Почвы незасоленные. Отношение Cl/SO₄ мг-экв/100 г почвы указывает на нетоксичность. Содержание обменных катионов натрия и калия низкое (табл. 2), массовая доля иона хлорида в процентном отношении составляет 0,005, содержание сульфатов <0,02%. Влажность составляет 45%, pH – 7,0.

Профиль 4 (точка 4.1, образцы 4-1 и 4-2) был заложен также в местности д. Быково, напротив



Рис. 2. Регулирующая открытая сеть на северном участке в районе населенного пункта Быково

Fig. 2. Regulatory open network in the northern section near the settlement of Bykovo

Таблица 2. Оценка степени засоления почв по «суммарному эффекту токсичных ионов» на заброшенных мелиорируемых землях Иркутского района (д. Быково)

Table 2. Assessment of the degree of soil salinization based on the “total effect of toxic ions” on the abandoned reclaimed lands in the Irkutsk region (village of Bykovo)

Оценка степени засоления <i>Assessment of the degree of salinity</i>	Место отбора проб <i>Sampling site</i>	№ пробы <i>Sample No</i>	Горизонт, см. <i>Horizon, cm</i>	Сумма солей анионов мг-экв/100 г почвы <i>Amount of anions salts mg-equiv / 100 g of soil</i>	Cl/SO ₄ мг-экв/100 г почвы <i>Cl / SO₄ mg-equiv / 100 g of soil</i>
Незасоленные <i>Non-salinized</i>	Профиль 3 точка 3-1 Быково <i>Profile 3 Point 3-1 Bykovo</i>	3-1	1-5	0,60	0,46
Незасоленные <i>Non-salinized</i>		3-2	15-20	0,50	0,72
Незасоленные <i>Non-salinized</i>	Профиль 4 точка 4-1 <i>Profile 4 Point 4-1</i>	4-1	0-5	0,77	0,23
Незасоленные <i>Non-salinized</i>		4-2	15-20	0,57	0,38

разрушенной фермы. Осушительный канал здесь хорошо сохранился и по краям зарос козьей ивой. Микрорельеф равнинный, заболоченный, преобладает луговая растительность с замещенными видами. Из замещенных видов преобладают крапива жгучая (*Urtica úrens*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgáris*); доминируют пырей ползучий (*Elytrigia répens*), тысячелистник обыкновенный (*Achilléa millefólium*), осот полевой (*Sónchus arvénsis*), герань луговая (*Geránum praténse*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), подорожник средний (*Plantágo média*). В собирателе – береза обыкновенная (*Bétula*), ива козья (*Salix*). Содержание органического вещества в почвах составляет от 64,7 до 83,5%, содержание калия – до 102,0 мг/кг почвы, фосфора – до 16,1 мг/кг почвы. Следует отметить, что поверхностный почвенный слой в этом профиле обеднен Ca, Mg, CL SO_4^{2-} . Влажность составляет 35%, pH – 6,9.

Анализ почв из 3 и 4 профилей (д. Быково) показал, что содержание органического вещества является высоким – от 76,3 до 84,5% в верхних горизонтах почв, также этот горизонт обогащен калием и фосфором. Содержание обменных катионов натрия и калия низкое, массовая доля иона хлорида в процентном отношении составляет 0,005, содержание сульфатов <0,02%, почвы – незасоленные.

Рассмотрим одну из главных характеристик засоленности – порог токсичности почв. Порогом токсичности называется предельное

количество солей в почве, выше которого начинается угнетение роста и развития среднесолеустойчивых растений [10]. Так, порогом чувствительности по анионам являются концентрации: CO_3^{2-} мг-экв/100 г почвы – 0,03; HCO_3^- мг-экв/100 г почвы – 0,8; CL мг-экв/100 г почвы – 0,3; SO_4^{2-} мг-экв/100 г почвы – 1,7 [9-11]. Как следует из табличного материала (табл. 3, 4), порог токсичности превышен по SO_4^{2-} в двух почвенных образцах: в профиле 1.1-3, проба 1-5, в поверхностном почвенном горизонте SO_4^{2-} – 2,5 мг-экв/100 г почвы (порог – 1,7 мг-экв/100 г почвы); в профиле 1.1-4, проба 1-7 SO_4^{2-} – 2,9 мг-экв/100 г почвы. В этой же пробе на границе порога чувствительности определяется в HCO_3^- мг-экв/100 г почвы – 0,80 (порог чувствительности – 0,80 мг-экв/100 г почвы).

На заброшенных мелиорируемых землях в местности около п. Баруй содержание органического вещества является высоким – до 84,5%, также почвы обогащены калием и фосфором, азотом. Почвы в этой местности характеризуются как незасоленные, слабозасоленные и сильнозасоленные. Сильнозасоленные почвы – в профилях 1.1-3, проба 1-5; 1.1-4, 1-7; в профилях 2.2-3 и 2.2-4. На засоленность почв указывает видовой состав растительности, который обеднен и представлен пыреем ползучим (*Elytrigia répens*) и осоковыми (*Cyperaceae*). Следует отметить, что все почвы являются нетоксичными по отношению – Cl/ SO_4 мг-экв/100 г.

Таблица 3. Содержание токсичных солей в почвах заброшенных мелиорируемых земель (водная вытяжка) д. Баруй, профиль 1,2

Table 3. Content of toxic salts in soils of abandoned reclaimed lands (water extract) in the village of Baruy, profile 1.2

Место отбора проб Sampling site	№ пробы Sample No	Горизонт Horizon	CO_3^{2-} мг-экв/ 100 г почвы CO_3^{2-} mg-equiv/ 100 g soil	HCO_3^- мг-экв/ 100 г почвы HCO_3^- mg-equiv/ 100 g soil	CL мг-экв/ 100 г почвы CL mg-equiv / 100 g soil	SO_4^{2-} мг-экв / 100 г почвы SO_4^{2-} mg-equiv / 100 g soil
Профиль 1. 1-1 Profile 1.1-1	1-1	0-5	<0,01	0,30	0,13	0,30
	1-2	10-15	<0,01	0,45	0,13	0,8
1.1-2	1-3	0-5	<0,01	0,55	0,14	1,00
	1-4	10-15	<0,01	0,35	0,12	0,24
1.1-3	1-5	0-5	<0,03	0,65	0,33	2,5
	1-6	15-20	<0,01	0,60	0,09	0,4
1.1-4	1-7	0-5	<0,01	0,80	0,11	2,9
Профиль 2 точка 2-1 Profile 2 point 2-1	2-1	0-5	<0,01	0,45	0,12	0,4
точка 2-2 point 2-2	2-2	0-5	<0,01	0,60	0,12	0,7
точка 2-3 point 2-3	2-3	1-5	<0,01	0,35	0,26	3,4
	2-4	10-20	<0,01	0,20	0,14	2,8

Таблица 4. Содержание токсичных солей в почвах заброшенных мелиорируемых земель (водная вытяжка) д. Быково, профиль 3 и 4

Table 4. Content of toxic salts in soils of abandoned reclaimed lands (water extract) in the village of Bykovo, profile 3 and 4

Место отбора проб Sampling site	№ пробы Sample No	Горизонт Horizon	CO ₃ ²⁻ мг-экв / 100 г почвы CO ₃ ²⁻ mg-equiv / 100 g soil	HCO ₃ мг-экв / 100 г почвы HCO ₃ mg-equiv / 100 g soil	Cl мг-экв / 100 г почвы Cl mg-equiv / 100 g soil	SO ₄ ²⁻ мг-экв / 100 г почвы SO ₄ ²⁻ mg-equiv / 100 g soil
Профиль 3 точка 3-1 Profile 3 point 3-1	3-1	1-5	<0,01	0,15	0,14	0,30
	3-2	15-20	<0,01	0,15	0,14	0,20
Профиль 4 точка 4-1 Profile 4 point 4-1	4-1	0-5	<0,01	0,15	0,11	0,50
	4-2	15-20	<0,01	0,15	0,11	0,30

Выводы

Проведенные исследования заброшенных мелиорируемых земель в Иркутском районе, в местности д. Быково, показали, что почвы содержат значительное количество органических и минеральных веществ, и такие показатели характеризуют потенциальное плодородие почв. Минимальное же количество сульфатов и хлоридов указывает на то, что засоление почв отсутствует.

Заброшенные мелиорируемые земли в Иркутском районе относятся к высокопродуктивным: луговой чернозем с высоким содержанием органических веществ, обогащенность натрием, фосфором, калием, низкое содержание гидрокарбонатов. Низкое содержание сульфатов и хлоридов указывает на то, что процесса засоления почв не наблюдается, за исключением 3 случаев, все засоленные почвы являются нетоксичными.

Согласно проведенному исследованию по качественному составу заброшенных мелиорируемых земель можно констатировать, что восстановление таких земель является целесообразным. Необходимо улучшать их экологическое

состояние, провести обогащение сенокосов и пастбищ мелиорантами – высокоценными видами растений. Наибольшую рентабельность при посеве культурных растений на заброшенных мелиорируемых землях из рассматриваемых вариантов показало возделывание ячменя и овса – 117%. Но для посева зерновых и кормовых культур следует вносить известковые удобрения, которые оказывают положительное влияние на их урожайность. Например, в течение 4 лет последствие известковых удобрений повышало урожайность ячменя в среднем на 3,9-5,8 ц/га. Наименьшую рентабельность имеет сенокосение (17%), что обусловлено низкими ценами на продукцию. Возможны другие варианты развития сельскохозяйственного производства. В Иркутском районе имеются перспектива и возможность вовлечения в сельскохозяйственный оборот заброшенных мелиорируемых земель. Реализация предлагаемых мероприятий будет способствовать вовлечению заброшенных земель в сельскохозяйственный оборот, развитию рынка земли, росту объемов сельскохозяйственного производства в регионе.

Список использованных источников

1. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: Межгосударственный стандарт от 1 января 1986 г. <https://docs.cntd.ru/>

1. **Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М.** Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 1964. 194 с.

2. Плоскогорья и низменности Восточной Сибири. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. / О.М. Адаменко, И.Ю. Долгушин, В.В. Ермолов и др. М.: Наука, 1971. С. 62-66.

3. **Афонина Т.Е., Пономаренко Е.А., Просвирнин В.Ю.** и др. Бесхозяйные мелиорируемые земли в Иркутской области, их характеристика и перспективы использования. М.: Колос-с, 2024. 160 с.

References

1. GOST 17.4.4.02-84 Nature conservation. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis: interstate. standard: introductory for the first time: date entered. 1986-01-01. – Text: electronic // Code: reference. system. – Access mode: local; under contract. – Updated monthly.

2. **Logachev N.A.** Cenozoic deposits of the Irkutsk amphitheater / N.A. Logachev, T.K. Lomonosova, V.M. Klimanova. Moscow: Nauka, 1964. 194 p.

3. Plateaus and lowlands of Eastern Siberia. History of the development of the relief of Siberia and the Far East / O.M. Adamenko I.Yu. Dolgushin, V.V. Ermolov, L.L. Isaeva, S.F. Kozlovskaya, B.N. Leonov, S.M. Tseitlin. Moscow: Science, 1971. P. 62-66.

4. **Afonina T.E.** Ownerless reclaimed lands in the Irkutsk region, their characteristics and prospects

4. **Баянова А.А.** Использование выпавших из сельскохозяйственного оборота бесхозных ранее мелиорированных земель на примере Иркутского района Иркутской области // Природообустройство. 2023. № 4. С. 35-39.

5. **Николаев И.Н., Надеждин Б.В., Угаров А.Н.** Почвы Иркутской области и перспективы повышения их плодородия. Иркутск: 1948. С. 13-14.

6. **Надеждин Б.В.** К истории почвенных исследований в Иркутской области // Труды Восточно-Сибирского филиала АН СССР. Серия биологическая. Новосибирск: Изд-во Западно-Сибирского филиала АН СССР, 1961. Вып. 27. С. 208.

8. **Лопатовская О.Г., Сугаченко А.А.** Мелиорация почв. Засоленные почвы: учебное пособие. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2010. 101 с.

9. **Базилевич Н.И., Панкова Е.А.** Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень почв Института им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ, 1972. Вып. V. С. 36-40.

10. **Мамонтов В.Г., Гладков А.А., Кузев М.М.** Практическое руководство по химии почв: учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 225 с.

11. **Клебанович Н.В.** Химическая мелиорация почв: практикум для студентов географического факультета [Текст] / Н.В. Клебанович. Минск: БГУ, 2018. 47 с.

12. **Дмитриев Н.Н.** Факторы, определяющие продуктивность культур плодосменного севооборота на кислых серых лесных почвах Прибайкалья и их эффективность / Н.Н. Дмитриев, Е.Н. Дьяченко // Вестник ИрГСХА. 2015, Вып. 71. С. 7-12.

13. **Журавлева Л.А., Анас А.** Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе // Природообустройство. 2024. № 2, С. 21.27.

for use // Т.Е. Afonina, E.A. Ponomarenko, V.Yu. Prosvirnin, Moscow: Kolos-s, 2024, 160 p.

5. **Bayanova A.A.** Use of ownerless previously reclaimed lands that have fallen out of agricultural use using the example of the Irkutsk district of the Irkutsk region / A.A. Bayanova // Prirodoobustrojstvo, 2023. No. 4. P. 35-39.

6. **Nikolaev I.N.** Soils of the Irkutsk region and prospects for increasing their fertility / I.V. Nikolaev, B.V. Nadezhdin, A.N. Ugarov. Irkutsk: 1948. P. 13-14.

7. **Nadezhdin B.V.** On the history of soil research in the Irkutsk region / B.V. Nadezhdin // Tr. East – Sib. Phil. Academy of Sciences of the USSR. Ser. biol. 1961a. Vol. 27. P. 208.

8. **Lopatovskaya O.G.** Soil reclamation. Saline soils [Text]: textbook. allowance / O.G. Lopatovskaya, A.A. Sugachenko. – Irkutsk: Irkutsk Publishing House. State University, 2010. – 101 p.

9. **Bazilevich N.I.** Experience in soil classification based on the content of toxic salts and ions / N.I. Bazilevich, E.A. Pankova. – Bull. Pochv, Institute named after V.V. Dokuchaev VASKHNIL, 1972. Issue. V. P. 36-40.

10. **Mamontov V.G.** Practical guide to soil chemistry [Text]: textbook / V.G. Mamontov, A.A. Gladkov, M.M. Kuzelev; Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Russian State. Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev. – Moscow: Publishing house RGAU-MSHA, 2012. – 225 p.: ill.; 20 cm; ISBN978-5-9675-0659-8

11. **Klebanovich N.V.** Chemical soil reclamation: practicum for students of the Faculty of Geography [Text] / N.V. Klebanovich. – Minsk: BSU, 2018. – 47 p.

12. **Dmitriev N.N.** Factors determining the productivity of crop rotation crops on acidic gray forest soils of the Baikal region and their effectiveness / N.N. Dmitriev, E.N. Dyachenko Bulletin of the IrGSHA, issue 71, 2015. P. 7-12.

13. **Zhuravleva L.A.,** Development of the material and technical base of the reclamation complex on an innovative basis. / L.A. Zhuravleva, A. Anas. Prirodoobustrojstvo. Issues 2, 2024. P. 21.27.

Об авторах

Татьяна Евгеньевна Афонина, д-р геогр. наук, профессор; WOS Research ID ABE-3285-2021; Scopus Author ID 0000-0002-2229-0841; ID РИНЦ 129263; <https://orcid.org/0000-0002-2229-0841/>; bf-vniprirodi@narod.ru

Елена Александровна Пономаренко, канд. биол. наук, доцент; WOS Research ID ABD-4703-2021; Scopus Author ID 0000-0003-0603-4490; ID РИНЦ 711272; <https://orcid.org/0000-0003-0603-4490/>; alyonapon@rambler.ru

Валерий Юрьевич Просвирнин, канд. техн. наук, доцент; ID РИНЦ 7112724, <https://orcid.org/0000-0001-5453-0910/>; terra@igsha.ru

About the authors

Tatyana E. Afonina, DSc (Geo), professor; WOS Research ID ABE-3285-2021; Scopus Author ID 0000-0002-2229-0841; ID РИНЦ 129263; <https://orcid.org/0000-0002-2229-0841/>; bf-vniprirodi@narod.ru

Elena A. Ponomarenko, CSc (Bio), associate professor ID РИНЦ 7112724, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5453-0910/>; alyonapon@rambler.ru

Valery Yu. Prosvirnin, CSc (Eng), associate professor; ID РИНЦ 7112724, <https://orcid.org/0000-0001-5453-0910/>; terra@igsha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Афонина Т.Е., Пономаренко Е.А., Просвирнин В.Ю. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Афонина Т.Е., Пономаренко Е.А., Просвирнин В.Ю. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of 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 11.06.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

Afonina T.E., Ponomarenko E.A., Prosvirnin V.Yu. carried out theoretical and practical research, on the basis of which they carried out a generalization and wrote the manuscript.

Afonina T.E., Ponomarenko E.A., Prosvirnin V.Yu. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-14-20>

УДК 631.61-3.03:004.94:504.4.062.2



КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СРЕДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОЗДОРОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.С. Севрюгина , А.Ю. Фомин, А.С. Апатенко

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 14/7, Россия

Аннотация. Целью исследований явилась разработка механизма снижения техногенной нагрузки городской агломерации на водные объекты, обеспечивающего самоочищение воды и экосистемное равновесие донных и прибрежных зон, путем коллаборативных роботизированных технических средств очистки загрязнений. Раскрыта проблема сохранения водных ресурсов путем их рационального использования. Установлено, что потребительская нагруженность на малые реки и подземные источники со стороны промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых объектов с каждым годом возрастает. Это ведет к деградации водотоков, а в ряде мест – к их полному исчезновению. Представлен аналитический обзор мероприятий, реализуемых на федеральном уровне, по сохранению водных ресурсов. Установлена природная эффективность самоочищения водных объектов от различных видов загрязнений. Дано обоснование периодичности механической очистки русла рек, озер, прудов различной наполняемости – 1 раз в 5 лет. В то же время определено, что глубокую очистку водоемов путем регулируемого сброса воды из водохранилищ следует проводить с периодичностью 15-20 лет. Отмечена способность рек к самоочищению по восстановлению экосистемного равновесия при помощи микроорганизмов, способных разрушать все без исключения синтетические и органические вещества. Выделено, что эффект деструкции различен во временном разрезе, плотности сформированности специфически бактериального сообщества, без дефицита биогенов и их адаптивности к специфическим загрязнителям города, расхода водного ресурса. Предложено альтернативное решение проблемы сохранения водных объектов и прибрежных территорий путем разработки и широкого применения запатентованной конструкции коллаборативного роботизированного (кобота) устройства для очистки водных и прибрежных объектов от загрязнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021/1196/1 от 08.10.2021 г. «Приоритет 2030», «Программа развития РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»

Ключевые слова: водные ресурсы, экосистема, загрязнение, городская агломерация, самоочищение, федеральный проект, очистка, коллаборативный робот

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

Original article

COLLABORATIVE ROBOTIC MEANS OF ECOLOGICAL IMPROVEMENT OF WATER BODIES

N.S. Sevryugina , A.Y. Fomin, A.S. Apatenko

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of mechanics and energy named after V.P. Goryachkin; 14/7 Pryanishnikov str., Moscow, 127434, Russia

Abstract. The aim of the research was to develop a mechanism to reduce the anthropogenic load of urban agglomeration on water bodies, ensuring self-purification of water and ecosystem balance of bottom and coastal zones, by developing collaborative robotic technical means of pollution purification. The problem of conservation of water resources through their rational use is revealed. It has been established that the consumer load on small rivers and underground sources from industrial, agricultural and municipal facilities increases every year, which leads to the degradation of watercourses, and in some places to their complete disappearance. An analytical review of measures implemented at the federal level for the conservation of water resources is presented. The natural efficiency of self-purification of water

bodies from various types of pollution has been established. The periodicity of mechanical cleaning of riverbeds, lakes, ponds of various filling, which is 1 time in 5 years, is substantiated, at the same time it is highlighted that deep cleaning of water bodies by regulated discharge of water from reservoirs should be carried out with a frequency of 15-20 years. The ability of rivers to self-purify to restore ecosystem balance with the help of microorganisms capable of destroying all synthetic and organic substances without exception was noted. It is highlighted that the effect of destruction is different in time, the density of formation of a specifically bacterial community, without a deficiency of biogens and their adaptability to specific pollutants of the city, and the consumption of water resources. An alternative solution to the problem of conservation of water bodies and coastal territories is proposed through the development and widespread use of a patented design of a collaborative robotic (kobot) device for cleaning water and coastal objects from pollution.

Format of citation: The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Agreement No 075-15-2021/1196/1 dated 08.10.2021 "Priority 2030", "Development Program of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Keywords: water resources, ecosystem, pollution, urban agglomeration, self-purification, federal project, purification, collaborative robot

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

Введение. Интенсивность ведения хозяйственной деятельности при реализации цели создания комфортных условий для жизни человека привела к нарушению природной инфраструктуры. В частности, остро стоит вопрос о сохранении водного баланса не столько как источника питьевой воды, а в глобальном масштабе – как источника сохранения природного баланса, его биосферы и растительности [1], что находит отражение в программных документах:

– О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474;

– Экология: Национальный проект;

– Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации: утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 г. № 731);

– Единый федеральный проект по экологическому оздоровлению рек и озер на 2025-2030 годы;

– Об экологическом оздоровлении водных объектов и о развитии мелиоративного комплекса Российской Федерации: Постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 327-СФ [2];

– О зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения на территории города Москвы и Московской области: Постановление Правительства Москвы

и Московской области от 17 декабря 2019 г. № 1705-ПП/970/44.

Цель исследований: снижение техногенной нагрузки городской агломерации на водные объекты, обеспечивающее самоочищение воды и экосистемное равновесие донных и прибрежных зон, путем разработки коллаборативных роботизированных технических средств очистки загрязнений.

Материалы и методы исследований. «...Для улучшения условий сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях необходимо обеспечить приведение гидротехнических сооружений в нормативно-техническое состояние и их безопасную эксплуатацию, организацию рационального водопользования и водораспределения, проведение противопаводковых мероприятий, расчистку мелиоративных каналов» [2]. В данном ключе следует отметить, что нельзя ограничиваться ресурсами больших рек – требуется внимательное отношение к решению вопросов малых рек и подземных водных источников [3].

Потребительская нагруженность на малые реки и подземные источники со стороны промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых объектов с каждым годом возрастает, что ведет к деградации водотоков, а в ряде мест – к их полному исчезновению.

Оценка состояния водорегулирующих сооружений в виде плотин, запруд, мельниц и пр. показывает не только их физическое, но и моральное устаревание [4, 5]. При всей проработанности

поставленных задач их решение требует подкрепления научно-практической обоснованностью долгосрочности положительного эффекта реализуемых мероприятий.

Данная проблема отмечается в работах многих ведущих ученых, которые предлагают различные пути решения. В частности, можно выделить следующие ключевые задачи:

– для сельскохозяйственной деятельности требуется повысить эффективность технологий мелиоративных работ, создавая механизм сохранения водных ресурсов путем сбалансированности уровня потребления и уровня восполнения водных объемов [6, 7];

– предприятиям строительной индустрии необходимо оптимизировать технологии добычи песка и гравия по показателю риска понижения уровня рек и горизонтов подпочвенных вод [8];

– предприятиям природоохранных структур следует разработать механизм контроля состояния прибрежных зон и русел рек, прудов и малых водоемов [9];

– производственным и коммунальным структурам необходимо исключить использование питьевой воды для технических целей путем перевода водопотребления на повторное использование очищенных вод технического назначения [10].

При рассмотрении задач, поставленных перед Министерством сельского хозяйства РФ по «возможности синхронизации работ по восстановлению водных объектов с мероприятиями по очистке и благоустройству прилегающих к ним территорий» [2, 4, 6], предлагается их комплексное решение (рис. 1).

В частности, можно отметить исследования, представленные в работе Н.М. Щегольковой «Динамика экологического состояния основного водотока мегаполиса». Теоретические положения по экологической структуре реки мегаполиса охватывают статические данные

по гидрохимическим, гидрологическим и гидробиологическим показателям воды речной, очищенной и поступающей на сооружения очистки за период с конца XIX в. до 2010 г. реки Москва. В данном исследовании река Москва представлена как наиболее яркий пример городского водотока, испытывающего на себе различные антропогенные воздействия [11].

В работе [11] доказано, что самоочищение от различных факторов нагрузки реки Москва находится в минимально допустимом периоде – 5 лет между промывками реки в условиях, соответствующих современному уровню техногенной нагрузки.

Предлагается интегральная оценка экосистемного равновесия реки по характеристике темпов самоочищения и размеров зон эконарушения. Как один из способов очистки, предлагается промывка дна реки. В то же время для сохранения донных сообществ данные мероприятия следует проводить не чаще, чем 1 раз в 5 лет. Также отмечается, что данный интервал следует увеличивать для водоемов с невысокой эконагрузкой, и в таком случае следует провести исследование по оценке показателя скорости самоочищения водоема.

Как отмечено, экологическую идентичность водные объекты могут сохранять путем самоочищения, что можно реализовать для определенных условий и территорий, не испытывающих техногенные нагрузки. В то же время невозможно приостановить интенсивность водопотребления человеком, что вызывает естественное противоречие при решении задач природосохранения.

Проведение научных исследований способности водной структуры мегаполисов по самоочищению затруднено ввиду комплекса противоречивых показателей, которые требуется учитывать при расчетах: в частности, это естественная неоднородность экологических структур, переменчивость антропогенного нагружения и прочие факторы.

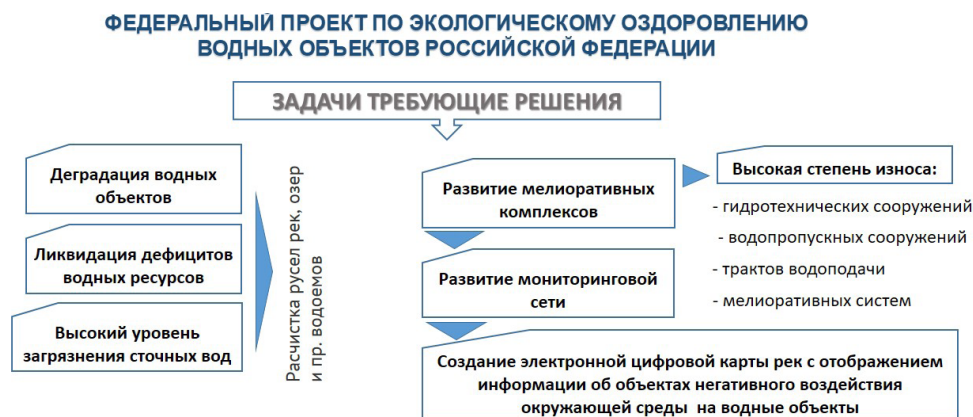


Рис. 1. Алгоритм задач федерального уровня по экологическому оздоровлению водных объектов

Fig. 1. Algorithm of tasks of the Federal level for environmental improvement of water bodies

Проведенные исследования позволили установить, что техногенные воздействия способствуют аккумуляции городских загрязнителей, созданию потенциально опасных накопленных илистых отложений, практически не трансформируемых донными гидробионтами.

Ряд ученых рекомендует проводить глубокую очистку водоемов путем регулируемого сброса воды из водохранилищ с периодичностью 15-20 лет.

Большая часть научно-исследовательских работ опирается на положения о стимулировании самоочищения водоемов комплексными бактериями – такими, как биологические организмы, очищающие воду (БООВ). Представлены исследования, указывающие на способность микроорганизмов разрушать все без исключения синтетические и органические вещества. Эффект деструкции различен во временном разрезе, плотности сформированности специфически бактериального сообщества, без дефицита биогенов и их адаптивности к специфическим загрязнителям города, расхода водного ресурса [13]. В частности, для Москвы-реки соотношение зависимости расхода водных ресурсов и влияния БООВ меняется с ростом городской агломерации и промышленного развития городских территорий, к началу XXI в. достигнув 10:9 [11].

Результаты и их обсуждение. *Технические решения повышения деструкции загрязнений водных ресурсов городских агломераций.* Как показано выше, без техногенного воздействия

водные ресурсы могут самоочиститься до экологически равновесного уровня. Однако данные возможности являются реализуемыми в случае снятия техногенной нагрузки и прекращения водопотребления, что невозможно для человека, так как его благополучие связано с постоянным процессом водопотребления. В данном ключе представляется своевременным поиск путей согласованности потребности человека и возможности водного объекта в ракурсе экосистемного равновесия.

Решение данной проблемы уже находит механизмы реализации программ очистки водоемов и снижения техногенной нагрузки за счет внедрения технических средств очистки, сбора загрязнений, создания естественного для водной среды структурного содержания донных отложений (рис. 2).

С оценкой технических решений очистных сооружений, модулей сбора мусора установлены долгосрочные критерии обеспечения экосистемного равновесия водных объектов, включающих в себя комплекс мероприятий по сбору банка данных о внутренних и внешних факторах, механизмов их совокупного приближения к идеализированному территориальному наполнению водных объектов и прибрежных зон (рис. 3).

В РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева авторским коллективом разработано коллаборативное роботизированное (кобот) устройство для очистки водных и прибрежных объектов от загрязнений [14].

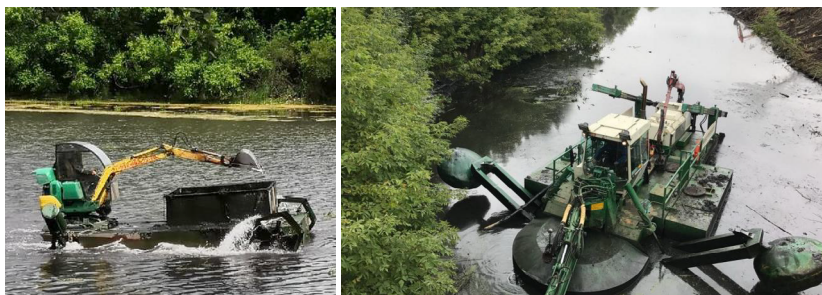


Рис. 2. Технические средства очистки водных объектов
Fig. 2. Technical means of cleaning water bodies



Рис. 3. Влияние загрязнений водных ресурсов городских агломераций на их деструкцию
Fig. 3. Impact of water pollution in urban agglomerations on their destruction

Концепция применения роботов при очистке водных объектов заключается в выполнении второстепенной монотонной работы, не требующей прямого воздействия со стороны человека: например, сбор плавающего мусора и скошенных водорослей, откачивание ила со дна и фильтрация воды от химических, биологических загрязнений и нерастворимых осадков (рис. 4).

Сравнение характеристики разработанного робота с имеющимися на рынке зарубежными аналогами показало существенные преимущества, в частности:

- наличие новых параметров, не имеющих у широко применяемых зарубежных аналогов – как система автономной удаленной работы на различных водных объектах, так и мелиоративный комплекс на малых реках, водоемах и прудах;

- компактность, адаптивность к различным рабочим органам, что расширяет спектр применения;

- комплексное взаимодействие с квадрокоптерами в рамках зонированной территории выполнения технологических операций, сенсорная связь и передача данных на периферийные носители.

Особым конкурентным преимуществом разрабатываемого робота является

импортозамещение как технического комплектования, так и аппаратного конструирования с программным обеспечением.

Устройство робота относится к области технологического машиностроения и применяется для выполнения работ на водоемах для очистки водного зеркала и прибрежной территории посредством удаления техногенных образований. Робот – устройство для очистки водных и прибрежных объектов от загрязнений, включающее в себя корпус, оснащенный механизмом перемещения, рабочим органом, источником энергии, блоком управления, дополнительно оснащено рабочим органом, выполненным в виде просеивающего ковша с перфорированным дном и оснащенный механизмом подъема. При этом блок управления размещен непосредственно в корпусе устройства, снабжен датчиками, обеспечивающими одновременно коллаборативный и автономный режимы работы, перемещаясь по прибрежной зоне или воде с помощью механизма перемещения, оснащенного понтонами. Техническое решение обеспечивает повышение уровня автоматизации устройства, качества плавучести и перемещения при одновременном снижении себестоимости и материалоемкости устройства.

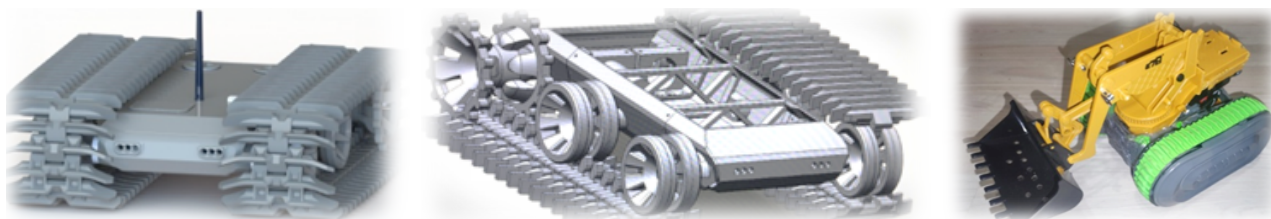


Рис. 4. Устройство для очистки водных и прибрежных объектов от загрязнений (концептуальное решение [14])

Fig. 4. Device for cleaning water and coastal bodies from pollution (conceptual solution [14])

Выводы

Представлен аналитический обзор мероприятий по сохранению водных ресурсов и их рационального использования, реализуемых на федеральном уровне.

Обоснована несогласованность между интенсивностью потребления воды и техногенной нагрузки на водные объекты и способностью экосистемного самовосстановления, то есть эффективности самоочищения водных объектов от различных видов загрязнений.

Выделена периодичность механической очистки русла рек, озер, прудов различной наполняемости, которая составляет 1 раз в 5 лет. В то же время отмечается, что глубокую очистку водоемов путем регулируемого сброса воды из водохранилищ следует проводить с периодичностью 15-20 лет.

Отмечено, что самоочищение рек происходит за счет биогеоценоза, микроорганизмов, способных разрушать все без исключения синтетические и органические вещества.

Определено, что эффект деструкции различен во временном разрезе, плотности сформированности специфически бактериального сообщества, без дефицита биогеоценоза и их адаптивности к специфическим загрязнителям города, расхода водного ресурса.

Предложено альтернативное решение проблемы сохранения водных объектов и прибрежных территорий путем разработки и широкого применения запатентованной конструкции коллаборативного роботизированного (робота) устройства для очистки водных и прибрежных объектов от загрязнений.

Список использованных источников

1. **Севрюгина Н.С., Апатенко А.С., Войтович Е.В.** Риски экосистемы при функционировании водохозяйственных комплексов // Природообустройство. 2020. № 2. С. 115-122. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-2-115-122. EDN: BJVTGX.
2. Об экологическом оздоровлении водных объектов и о развитии мелиоративного комплекса Российской Федерации: Постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 327-СФ. [Электронный ресурс]. URL: <https://npalib.ru/2023/06/21/postanovlenie-327-sf-id428816/>.
3. **Каракулов Ф.А.** Водные ресурсы бассейна реки Кубань, антропогенное воздействие на водные ресурсы, методы борьбы с заилением мелиоративных систем // Colloquium-Journal. 2021. № 26-1 (113). С. 21-23. EDN: MLIQLY.
4. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информационное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.
5. **Юрченко И.Ф.** Автоматизация управления формированием мелиоративного состояния агроэкосистем // Природообустройство. 2019. № 4. С. 15-22. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-4-15-22. EDN: NTTEVP.
6. **Голубев И.Г., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С.** Состояние и перспективы вовлечения залежных земель в оборот // Мелиорация. 2021. № 3 (97). С. 67-74. EDN: SYRHE.
7. **Голубев И.Г., Мишуров Н.П., Голубев В.В.** и др. Передовые практики введения залежных земель в оборот. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 80 с. EDN: PFVVEL.
8. **Чубенко Т.В., Германова С.Е., Самброс Н.Б.** и др. Анализ показателей, характеризующих влияние хозяйственной деятельности человека на природные водные ресурсы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». 2022. № 3-2. С. 27-32. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.03-2.19. EDN: OYAJYY.
9. **Севрюгина Н.С.** Аспекты сохранения малых водных объектов в урбанизированной среде / Фомин А.Ю., Лосев А.А., Войтович Е.В. // Природообустройство. 2022. № 3. С. 83-90. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-83-90. EDN: XACLFL.
10. **Коронкевич Н.И.** Эколого-экономические показатели антропогенных воздействий на водные ресурсы в России и в мире / Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Зайцева И.С. // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 8. С. 739-748. DOI: 10.31857/S0869587320080071. EDN: DGIDSD.
11. **Щеголькова Н.М.** Динамика экологического состояния основного водотока мегаполиса (на примере реки Москвы): Автореф. дис. ... д-ра биол. Москва, 2007. 48 с. EDN: ZNDPUN.
12. **Севрюгина Н.С., Апатенко А.С., Капырин П.Д.** Мелиоративные системы и цифровая идентичность как механизм управления ресурсом // Природообустройство. 2021. № 3. С. 6-13. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-6-13. EDN: YSSRHE.
13. **Самсонова С.П.** Очистка воды от микробиологических загрязнений и биопленок в оборотных системах различного назначения / Самсонова С.П., Сергиенко А.И., Шалимова Е.В. и др. // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 6. С. 22-27. EDN: YRENIT.

References

1. **Sevryugina N.S.** Ecosystem risks in the functioning of water management complexes / N.S. Sevryugina, A.S. Apatenko, E.V. Voitovich // Prirodoobustrojstvo. 2020. No. 2. P. 115-122. – DOI 10.26897/1997-6011/2020-2-115-122. – EDN BJVTGX.
2. Electronic resource. Resolution of the Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation dated 06/21/2023 No. 327-SF “On Environmental improvement of water bodies and on the development of the reclamation complex of the Russian Federation”: <https://npalib.ru/2023/06/21/postanovlenie-327-sf-id428816/>
3. **Karakulov F.A.** Water resources of the Kuban River basin, anthropogenic impact on water resources, methods of combating siltation of reclamation systems / F.A. Karakulov // Colloquium-Journal. 2021. No. 26-1 (113). P. 21-23. – EDN MLIQLY.
4. The reclamation complex of the Russian Federation: inform. Edition. M.: FSBI “Rosinformagrotech”, 2020. 304 p.
5. **Yurchenko I.F.** Automation of management of the formation of the reclamation state of agroecosystems / I.F. Yurchenko // Prirodoobustrojstvo. 2019. No. 4. P. 15-22. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-15-22. – EDN NTTEVP.
6. **Golubev I.G., Apatenko A.S., Sevryugina N.S.** The state and prospects of involving fallow lands in circulation // Melioration. 2021. No. 3(97). P. 67-74. – EDN SYRHE.
7. **Golubev I.G., Mishurov N.P., Golubev V.V.** [et al.] Advanced practices of introducing fallow lands into circulation. – Moscow: Russian Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on engineering and technical support of the agro-industrial complex, 2021. 80 p. – ISBN978-5-7367-1638-8. – EDN PFVVEL.
8. **Chubenko T.V., Germanova S.E., Sambros N.B.** [et al.] Analysis of indicators characterizing the impact of human economic activity on natural water resources // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. 2022. No. 3-2. P. 27-32. – DOI 10.37882/2223-2966.2022.03-2.19. – EDN OYAJYY.
9. **Sevryugina N.S., Fomin A.Yu., Losev A.A., Voitovich E.V.** Aspects of conservation of small water bodies in an urbanized environment // Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 3. P. 83-90. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-3-83-90. – EDN XACLFL.
10. **Koronkevich N.I.** Ecological and economic indicators of anthropogenic impacts on water resources in Russia and in the world / Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Zaitseva I.S. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2020. Vol. 90, No. 8. P. 739-748. – DOI 10.31857/S0869587320080071. – EDN DGIDSD.
11. **Shchegolkova N.M.** Dynamics of the ecological state of the main watercourse of the megalopolis (on the example of the Moscow River): specialty 03.00.16: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of biological sciences. – Moscow, 2007. 48 p. – EDN ZNDPUN.
12. **Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Kapyrin P.D.** Meliorative systems and digital identity as a resource management mechanism // Prirodoobustrojstvo. 2021. No. 3. P. 6-13. – DOI 10.26897/1997-6011-2021-3-6-13. – EDN YSSRHE.
13. **Samsonova S.P., Sergienko A.I., Shalimova E.V.** [et al.] Purification of water from microbiological contaminants and biofilms in circulating systems for various

14. Устройство для очистки водных и прибрежных объектов от загрязнений. Заяв. № 2023107234: заявл. 27.03.2023; опублик. 07.06.2024 / А.Ю. Фомин, Н.С. Севрюгина, А.С. Апатенко и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». EDN: KESIPF.

Об авторах

Надежда Савельевна Севрюгина, д-р техн. наук, профессор, AuthorID: 144506; <https://orcid.org/0000-0002-3494-1437>; sevruginans@rgau-msha.ru

Александр Юрьевич Фомин, канд. техн. наук, доцент; AuthorID: 804021; <https://orcid.org/0000-0001-8333-9015>; sachafomin@mail.ru

Алексей Сергеевич Апатенко, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой; AuthorID: 261571; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; a.apatenko@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Севрюгина Н.С., Фомин А.Ю., Апатенко 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 interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

purposes // Water supply and sanitary engineering. 2017. No. 6. P. 22-27. – EDN YREHIT.

14. **Patent No.** 2820689 C1 Russian Federation, IPC E02B15/00, E02B3/02, B60F 3/00. Device for cleaning water and coastal objects from pollution: No. 2023107234: application. 03/27/2023: publ. 06/07/2024 / A.Y. Fomin, N.S. Sevryugina, A.S. Apatenko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Ministry of Agriculture named after C.A. Timiryazev”. – EDN KESIPF.

About the authors

Nadezhda S. Sevryugina, DSc (Eng), professor, AuthorID: 144506; <https://orcid.org/0000-0002-3494-1437>; sevruginans@rgau-msha.ru

Alexander Yu. Fomin, CSc (Eng), associate professor; AuthorID: 804021; <https://orcid.org/0000-0001-8333-9015>; e-mail: sachafomin@mail.ru

Alexey S. Apatenko, DSc (Eng), associate professor, head of the department; AuthorID: 261571; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; a.apatenko@rgau-msha.ru

Sevryugina N.S., Fomin A. Yu, Apatenko A.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-21-27>

УДК 631.6:626.821.1



МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ОБЛИЦОВАННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

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

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

Аннотация. Целью исследований являлся обзор современных методов, использующихся при диагностике состояния оросительных каналов и основных критериев уровня износа. При проведении исследований использовали метод эмпирического познания, который послужил синтезом для теоретического анализа литературы дедуктивным способом. Теоретический метод включал в себя реферирование, конспектирование и цитирование общих и специальных научных трудов ученых по данному наукоемкому направлению. В работе применялись математические и статистические методы для получения и установления количественных зависимостей между изучаемыми явлениями. Результаты исследований включают в себя теорию методов диагностики оросительных каналов, а также разработанные математические модели на их основе. В заключение обосновывается необходимость проведения диагностики состояния оросительных каналов, а также применения различных современных методов диагностики.

Ключевые слова: облицованные оросительные каналы, диагностика состояния облицованных оросительных каналов, жизненный цикл, математические модели, гидравлические параметры, геометрические характеристики, устойчивое развитие сельского хозяйства, водные ресурсы, управление водными системами

Формат цитирования: Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Сафин Э.Э. Методы диагностики облицованных оросительных каналов // Природообустройство. 2024. № 5. С. 21-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-21-27>

Original article

DIAGNOSTIC METHODS OF LINED IRRIGATION CANALS

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

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov;
410012, Saratov, Peter Stolypin Avenue, bld. 4, p.3. Russia

Abstract. The purpose of this article is to review modern methods for diagnosing the condition of irrigation canals and the main criteria for the level of wear. In the course of the study, the author used the method of empirical cognition, which served as a synthesis for the theoretical analysis of literature by the deductive method. The theoretical method included abstracting, taking notes and citing general and special scientific works of scientists in this science-intensive area. Mathematical and statistical methods were used to obtain and establish quantitative dependencies between the phenomena under study. The results of the study include the theory of methods for diagnosing irrigation canals, as well as the developed mathematical models based on them. In conclusion, the need for diagnostics of the condition of irrigation canals, as well as the use of various modern diagnostic methods, is substantiated.

Keywords: lined irrigation canals, diagnostics of lined irrigation canals condition, life cycle, mathematical models, hydraulic parameters, geometric characteristics, sustainable agricultural development, water resources, management of water systems

Format of citation: Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Safin E.E. Diagnostic methods of lined irrigation canals // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 21-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-21-27>

Введение. Оросительные каналы играют ключевую роль в сельском хозяйстве, осуществляя необходимое влагообеспечение для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Однако со временем они подвержены износу и различным повреждениям, что может привести к снижению эффективности систем орошения, и в итоге – к снижению урожайности. Поэтому важно регулярно оценивать состояние оросительных каналов и проводить

необходимые мероприятия по их обслуживанию и ремонту.

Цель исследований: обзор современных методов диагностики состояния оросительных каналов и основных критериев уровня износа.

Материалы и методы исследований. Проведен обзор научной литературы, научных статей, технических отчетов и руководств, посвященных методам диагностики состояния оросительных каналов и критериям износа [1]. В качестве основных критериев для оценки состояния оросительных каналов были выбраны гидравлические и геометрические параметры, а также второстепенные критерии – такие, как прочность конструкции, состояние покрытий и экологические показатели (табл.) [2].

Учет всех критериев обеспечивает комплексный подход к оценке состояния оросительных каналов, что позволяет выявить потенциальные проблемы и принять соответствующие меры для их решения.

Результаты и их обсуждение. Приведем алгоритм проведения диагностики оросительных каналов. Визуальный осмотр является одним из первых и наиболее доступных методов диагностики состояния оросительных каналов [3]. Он включает в себя тщательное обследование канала и его окружающей территории с целью выявления видимых повреждений, деформаций и других аномалий, которые могут указывать на проблемы в работе канала (рис. 1) [4].

Визуальный осмотр оросительного канала включает в себя следующие этапы:

1. *Оценка общего состояния канала.* На этом этапе происходит определение общего состояния канала, что может включать в себя проверку наличия трещин, сколов, неровностей и других видимых повреждений.

2. *Проверка стыков и соединений.* Особое внимание уделяется местам соединения различных сегментов канала, стыкам со структурными элементами (например, мостами или дамбами) и любым другим местам, где возможны утечки или деформации.

3. *Оценка состояния откосов и дна канала.* Изучаются откосы и дно канала на наличие эрозии, подмыва, засорения или других аномалий, которые могут негативно сказаться на работе канала.

4. *Идентификация растительности и отложений.* Проверяется наличие растительности, водорослей и других растений, которые могут затруднять поток воды или приводить

к засорению канала. Также оцениваются наличие и объем отложений – таких, как наносы, или мусор.

5. *Фиксация обнаруженных повреждений и аномалий.* В процессе визуального осмотра фиксируются все обнаруженные повреждения, деформации и другие аномалии с помощью фотографий или записей, чтобы иметь документацию для дальнейшей оценки и ремонта.

6. *Составление отчета.* По результатам визуального осмотра составляется отчет, в котором фиксируются все обнаруженные проблемы и предлагаемые действия по их решению.

Визуальный осмотр является важным и эффективным методом для быстрой оценки состояния оросительных каналов и выявления видимых проблем. Он также может служить отправной точкой для более глубоких исследований и диагностики при необходимости [5].

После проведения диагностики и выявления каких-либо отклонений необходимо сравнить **геометрические параметры канала** с исходным проектом для выявления отклонений (рис. 2) и провести гидравлические испытания. Полученные результаты можно использовать для дальнейшей диагностики и оценки состояния облицованных оросительных каналов на данный момент, а также спрогнозировать их изменение в динамике [2].

На основе геометрических параметров путем простых математических операций можем определить важнейшие гидравлические параметры работы оросительного канала [6].

Для канала с трапециевидным сечением (ширина основания b_1 , ширина вершины b_2 и глубина h) гидравлические расчеты могут быть выполнены следующим образом [7, 8]:

Расчет площади поперечного сечения A

$$A = \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h. \quad (1)$$

Расчет периметра смоченного периметра P

$$P = b_1 + b_2 + 2h \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{b_1 - b_2}{2h}\right)^2}. \quad (2)$$

Расчет гидравлического радиуса R

$$R = \frac{A}{P}. \quad (3)$$

Расчет скорости потока q

$$q = \frac{k \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}}{n}, \quad (4)$$

где k – коэффициент, зависящий от формы сечения (для трапециевидного сечения $k = 1.49$); i – уклон канала; n – коэффициент шероховатости дна и боковых стенок (откосов).

Таблица 1. Критерии оценки состояния облицованных оросительных каналов

Table 1. Assessment criteria of the irrigation canal condition

Критерий Criterion	Определение Determination	Значение Significance
Гидравлические параметры Hydraulic parameters	<p>Гидравлические параметры касаются характеристик потока воды в оросительном канале, таких как скорость потока, расход воды, гидравлический радиус, коэффициент Шези и потери напора</p> <p><i>Hydraulic parameters concern characteristics of the water flow in the irrigation canal, such as flow velocity, water consumption, hydraulic radius, epy Chezy coefficient and loss of head</i></p>	<p>Гидравлические параметры непосредственно влияют на эффективность передачи воды по каналу, а также на равномерность орошения участков земли. Изменения в гидравлических параметрах могут указывать на проблемы, такие как засорение канала, обрушение конструкции или износ</p> <p><i>Hydraulic parameters directly affect the efficiency of water transmission through the canal, as well as the uniformity of irrigation of land plots. Changes in hydraulic parameters can indicate to the problems such as canal clogging, structural collapse or wear and tear</i></p>
Геометрические параметры Geometric parameters	<p>Геометрические характеристики включают в себя параметры размеров и формы канала, такие как ширина, глубина, уклон и профиль</p> <p><i>Geometric characteristics include parameters for the dimensions and shape of the canal, such as width, depth, slope and profile</i></p>	<p>Геометрические характеристики определяют гидравлические условия в канале и его способность эффективно транспортировать воду. Изменения в геометрии могут свидетельствовать об эрозии почвы, деформации конструкции или неправильном обслуживании. Кроме того, измерение геометрических характеристик позволяет сравнивать текущее состояние канала с его проектными параметрами</p> <p><i>Geometric characteristics determine the hydraulic conditions in the canal and its ability to transport water efficiently. Changes in geometry may indicate soil erosion, structural deformation, or improper maintenance. In addition, the measurement of geometric characteristics makes it possible to compare the current state of the canal with its design parameters</i></p>
Прочность конструкции Structural strength	<p>Этот критерий оценивает прочность материалов, из которых изготовлен оросительный канал, а также его способность выдерживать внешние нагрузки, такие как гидродинамические силы, нагрузки почвы и т.д.</p> <p><i>This criterion evaluates strength of the materials which were used for manufacturing the irrigation canal, as well as its capability to withstand the external loads such as hydrodynamic forces, soil loads, etc.</i></p>	<p>Прочность конструкции важна для предотвращения обрушения или разрушения канала, что может привести к простоям в системе орошения, повреждению сельскохозяйственных угодий и потенциальным аварийным ситуациям</p> <p><i>Structural strength is important to prevent the canal from collapse or destruction, which can lead to downtime in the irrigation system, damage to agrarian farmland and potential accidents</i></p>
Экологическая устойчивость Environmental sustainability	<p>Этот критерий оценивает влияние оросительного канала на окружающую среду и природные экосистемы, включая сохранение биоразнообразия, качество воды и здоровье почвы</p> <p><i>This criterion evaluates the influence of the irrigation canal on the environment and natural ecosystems, including conservation of biodiversity, water quality and soil health</i></p>	<p>С учетом растущей осведомленности о необходимости экологически устойчивых практик, важно оценить воздействие оросительных каналов на окружающую среду и принять меры для минимизации негативного воздействия</p> <p><i>Taking into consideration the growing awareness on the necessity of the ecologically sustainable practices, it is important to evaluate the impact of irrigation canals on the environment and to take measures to minimize the negative impact</i></p>
Эксплуатационные параметры Operational parameters	<p>Этот критерий оценивает характеристики эксплуатации канала, такие как объем перекачиваемой воды, частота использования, интенсивность транспорта материалов и другие эксплуатационные параметры</p> <p><i>This criterion evaluates the operational characteristics of the canal, such as a volume of the pumped water, frequency of usage, intensity of the materials transportation and other operational parameters</i></p>	<p>Изменения в эксплуатационных параметрах могут указывать на потенциальные проблемы в работе оросительной системы, такие как засорение или износ, а также помогают в определении частоты и объема предполагаемых обслуживающих мероприятий</p> <p><i>Changes in the operational parameters may indicate to the potential problems in the work of the irrigation system, such as canal clogging or wear and tear, and help in determination of the frequency and volume of the intended service measures</i></p>



Рис. 1. Визуальный осмотр оросительных каналов
(Энгельсский филиал ФГБУ «Управление Саратовмелиоводхоз»)

Fig. 1. Visual inspection of irrigation canals
(Engels branch of FGBU "Saratovmeliiovodkhoz Management")

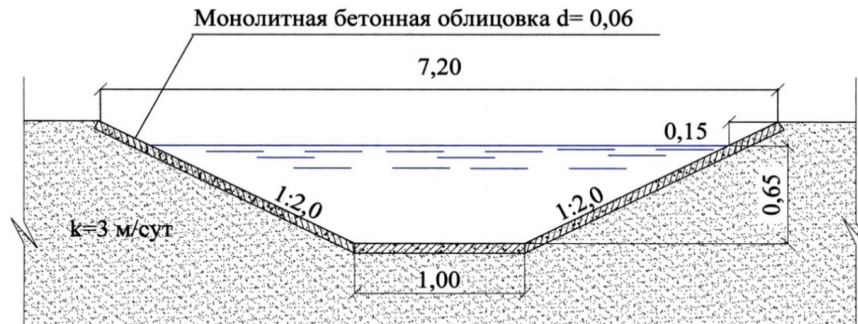


Рис. 2. Геометрические параметры распределительного канала:
k – коэффициент фильтрации; d – толщина монолитной бетонной облицовки

Fig. 2. Geometric parameters of the distribution canal
k – filtration coefficient, d – thickness of monolithic concrete lining

Расчет расхода воды Q .

$$Q = A \cdot q. \quad (5)$$

Расчет гидравлических потерь H_f

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{q^2}{2g}, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления потоку; L – длина канала; D – гидравлический диаметр; g – ускорение свободного падения.

Данные расчеты позволяют оценить гидравлические характеристики трапециевидного канала и адаптировать его проектирование для эффективного использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.

Таким образом, по результатам проведенных диагностических работ можно представить несколько вариантов математической модели.

Рассмотрим возможную математическую модель для оценки состояния оросительного канала на основе визуального осмотра. Предположим, что нужно оценить общее состояние канала на основе количества обнаруженных повреждений и их типов [9].

Пусть

N – количество обнаруженных повреждений в канале;

D_i – тип i -го повреждения, где $i = 1, 2, \dots, n$;

S_i – степень серьезности i -го повреждения, выраженная числом (например, от 1 до 10,

где 1 – незначительное повреждение, 10 – критическое повреждение).

Тогда общая оценка состояния канала E может быть вычислена как сумма степеней серьезности всех обнаруженных повреждений, нормализованная к общему количеству обнаруженных повреждений:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (7)$$

Такая модель позволяет численно оценить состояние канала на основе обнаруженных повреждений и их серьезности. Чем выше значение E , тем хуже состояние канала. Также можно сделать данную модель более сложной путем учета не только количество обнаруженных повреждений, но и их распределения по длине канала, а также их влияния на гидравлические характеристики [10].

Пусть

L – длина оросительного канала;

N – количество обнаруженных повреждений;

X_i – расположение i -го повреждения на канале, где $i = 1, 2, \dots, n$;

D_i – тип i -го повреждения;

S_i – степень серьезности i -го повреждения;

$Q(x)$ – расход воды в точке x канала.

Тогда общая оценка состояния канала $E(x)$ в точке x может быть определена как сумма вкладов каждого повреждения в изменение гидравлических характеристик канала:

$$E(x) = \sum_{i=1}^n a_i(x) \cdot s_i, \quad (8)$$

где $a_i(x)$ – коэффициент влияния i -го повреждения на состояние канала в точке x . Этот коэффициент может зависеть от расстояния до повреждения, его типа и других факторов, описывающих гидравлическое воздействие повреждения.

Модель для определения $a_i(x)$ может быть достаточно сложной и требует учета множества факторов – таких, как геометрия канала, характеристики повреждения, гидравлические потери и др. [11]. Например, она может быть основана на анализе гидравлических потерь в канале с учетом распределения повреждений и их влияния на гидравлическое сопротивление.

Учитывая жизненный цикл оросительного канала, можно внести изменения, учитывающие не только текущее состояние канала, но и его прошлую и будущую историю включая факторы старения, ремонта и обновления.

Пусть

T – время (годы), прошедшее с момента ввода канала в эксплуатацию;

C – ожидаемый срок службы канала (годы);

R – коэффициент старения, отражающий изменение состояния канала со временем;

$M(t)$ – вектор изменений состояния канала за период времени t .

Тогда общее изменение состояния канала за период времени t может быть описано как

$$M(t) = R \cdot (T - C). \quad (9)$$

Учитывая жизненный цикл канала, модель оценки состояния канала $E(t)$ в момент времени t можно представить как комбинацию текущего состояния и изменений, произошедших за предыдущий период:

$$E(t) = E_0 + \int_0^t M(t) dt. \quad (10)$$

Данная модель позволяет учитывать динамику изменений состояния канала в течение его жизненного цикла. Увеличение коэффициента старения R будет означать ускоренное старение канала, в то время как ремонтные работы или обновления могут уменьшить этот процесс.

Коэффициент старения R может быть вычислен на основе данных о состоянии канала за определенный период. Он отражает изменение состояния канала со временем и может быть определен как отношение общего изменения состояния канала к прошедшему времени.

Предположим, что есть данные о состоянии канала за определенные временные промежутки t_1, t_2, \dots, t_n , где t_i – это временные точки наблюдений; $E(t_i)$ – состояние канала в момент времени t_i .

Тогда изменение состояния канала между двумя временными точками t_i и t_{i+1} можно выразить как разницу их состояний:

$$\Delta E_i = E(t_{i+1}) - E(t_i). \quad (11)$$

Суммарное изменение состояния канала за все временные промежутки можно выразить как

$$\Delta E_{total} = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta E_i. \quad (12)$$

Тогда коэффициент старения R можно определить как отношение суммарного изменения состояния канала к общему прошедшему времени T :

$$R = \frac{\Delta E_{total}}{T}. \quad (13)$$

Данный подход к вычислению коэффициента старения позволяет учитывать изменения

состояния канала и его динамику в течение времени. В зависимости от требований и доступных данных можно использовать различные методы оценки изменений состояния канала и вычисления коэффициента старения.

Выводы

Рассмотренные методы включают в себя визуальный осмотр, анализ гидравлических параметров, оценку геометрии и проверку прочности конструкции оросительных каналов. Эти методы предоставляют информацию о текущем состоянии каналов и об их динамике в течение времени.

Список использованных источников

1. **Баев О.А.** Обоснование методов гидравлических расчетов оросительных каналов // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 274-295. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-274-295. EDN: MCZWUA.
2. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Гидротехническое строительство: учебное пособие. Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. 2022. 313 с. EDN: FRRNRH.
3. **Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А.** Актуальные вопросы обслуживания оросительных каналов и рациональное управление водными ресурсами // Основы рационального природопользования: материалы IX Национальной конференции с международным участием, Саратов, 12-13 октября 2023 г. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. С. 7-15. EDN: ZXMGGRD.
4. **Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Сафин Э.Э.** Состояние противодиффузионных покрытий оросительных каналов и пути их совершенствования // Основы рационального природопользования: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 27-28 октября 2022 г. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2022. С. 3-7. EDN: EPMSQH.
5. **Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Михеева О.В., Миркина Е.Н.** Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 107-114. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp107-114. EDN: XBBLTA.
6. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1147-1162. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162. EDN: OUXBGA.
7. **Abdrzakov F., Rukavishnikov A., Miheeva O., Logashov D.** Modern information technologies in the management and planning of ecologically balanced irrigation systems // Vavilov readings-2021: Dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N.I. Vavilov, Saratov, 25-26 ноября 2021 г. Vol. 43. Saratov: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2022. P. 87. DOI: 10.1051/bioconf/20224303022. EDN: ENAEFX.
8. **Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А.** Исключение непроизводительных потерь водных

Математические модели, разработанные на основе данных методов, позволяют качественно оценить состояние каналов и предсказать их будущее развитие. Такие модели являются необходимым инструментом для планирования обслуживания и ремонта оросительных систем, а также для оптимизации использования водных ресурсов.

Таким образом, сочетание методов диагностики и математических моделей играет важную роль в обеспечении устойчивого функционирования оросительных каналов и эффективного использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.

References

1. **Baev O.A.** Justification of methods for hydraulic calculations of irrigation canals / O.A. Baev // Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. V. 13, № 3. P. 274-295. – DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-274-295. – EDN MCZWUA.
2. **Kosichenko Yu.M.** Hydrotechnical construction / Yu.M. Kosichenko, O.A. Baev. – Novocherkassk: Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, 2022. 313 p. – ISBN978-5-6046726-2-4. – EDN FRRNRH.
3. **Abdrzakov F.K.** Actual issues of irrigation canal maintenance and rational water resources management / F.K. Abdrzakov, A.A. Rukavishnikov // Fundamentals of rational nature management: Proceedings of the IX National Conference with international participation, Saratov, October 12-13, 2023. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2023. P. 7-15. – EDN ZXMGGRD.
4. **Abdrzakov F.K.** State of impervious coverings of irrigation canals and ways to improve them / F.K. Abdrzakov, A.A. Rukavishnikov, E.E. Safin // Fundamentals of rational nature management: proceedings of the VIII National Conference with international participation, Saratov, October 27-28, 2022. Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. N.I. Vavilov, 2022. P. 3-7. – EDN EPMSQH.
5. **Abdrzakov F.K.** Filtration in canals with an earthen bed and new methods of slope fixing / F.K. Abdrzakov, A.A. Rukavishnikov, O.V. Mikheeva, E.N. Mirkina // Agrarian scientific journal. 2023. № 6. P. 107-114. – DOI 10.28983/asj.y2023i6pp107-114. – EDN XBBLTA.
6. **Kosichenko Yu.M.** Hydraulic efficiency of irrigation canals in operation / Yu.M. Kosichenko, O.A. Baev // Vestnik MGSU. 2020. V. 15, № 8. P. 1147-1162. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162. – EDN OUXBGA.
7. **Abdrzakov F.** Modern information technologies in the management and planning of ecologically balanced irrigation systems / F. Abdrzakov, A. Rukavishnikov, O. Miheeva, D. Logashov // Vavilov readings-2021: Dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N.I. Vavilov, Saratov, November 25-26, 2021. Vol. 43. Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, November 25-26, 2021. N.I. Vavilov, 2022. P. 87. – DOI 10.1051/bioconf/20224303022. – EDN ENAEFX.

ресурсов из оросительной сети за счет использования инновационных облицовочных материалов // Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 91-94. DOI: 10.28983/asj.y2019i10pp91-94. EDN: MFHBHE.

9. **Гарбуз А.Ю.** Экспериментальные исследования водопроницаемости локальных повреждений бетонных облицовок каналов // Экология и водное хозяйство. 2020. № 1 (4). С. 76-88. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-1-76-88. EDN: NLYLFV.

10. **Баев О.А.** Расчеты установившейся свободной фильтрации из необлицованных каналов // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 227-243. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243. EDN: TGXTOJ.

11. **Белавкин А.В.** Анализ существующих подходов к оценке движения потока воды в заросших руслах // Инновации и инвестиции. 2019. № 4. С. 229-233. EDN: IIDQAP.

Об авторах

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

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

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

Критерии авторства / Criteria of authorship

Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Сафин Э.Э. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 06.04.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.09.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 25.10.2024

8. **Abdrazakov F.K.** Exclusion of unproductive losses of water resources from the irrigation network through the use of innovative facing materials / F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov // Agrarian scientific journal. 2019. № 10. P. 91-94. – DOI 10.28983/asj.y2019i10pp91-94. – EDN MFHBHE.

9. **Garbuz A.Yu.** Experimental studies of water permeability of localized damages of concrete linings of canals / A.Yu. Garbuz // Ecology and Water Management. 2020. № 1(4). P. 76-88. – DOI 10.31774/2658-7890-2020-1-76-88. – EDN NLYLFV.

10. **Baev O.A.** Calculations of steady-state free filtration from unlined channels / O.A. Baev // Melioration and Hydraulic Engineering. 2022. V. 12, № 3. P. 227-243. – DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243. – EDN TGXTOJ.

11. **Belavkin A.V.** Analysis of the existing approaches to the assessment of water flow movement in overgrown channels / A.V. Belavkin // Innovations and Investments. 2019. № 4. P. 229-233. – EDN IIDQAP.

Author information

Fyarid K. Abdrazakov, DSc (Eng), honored worker of science, professor, professor of the department “Hydromelioration, environmental management and construction in agro-industrial complex”, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>; abdrazakov.fk@mail.ru

Andrey A. Rukavishnikov, CSc (Eng), associate professor of the department “Hydromelioration, environmental management and construction in agro-industrial complex”, Russia, Saratov, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>; andreirukavishn@gmail.com

Emil E. Safin, post-graduate student of the department “Hydromelioration, environmental management and construction in agro-industrial complex”, <https://orcid.org/0000-0003-3203-9703>; mister.safimil@yandex.ru

Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Safin E.E. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-28-36>

УДК 631.445.2:631.585:631.8



АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ОСВАИВАЕМЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ В ЗЕРНОПРОПАШНОМ ПЛОДОСМЕННОМ СЕВООБОРОТЕ ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ УДОБРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ

В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Н.П. Попова ✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. Цель исследований: Изучение влияния разноглубинной заделки измельченных соломисто-пожнивных остатков полевых культур, расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов, а также органических отходов свиного комплекса, применяемых в качестве основного удобрения, на азотный режим деградированных почв по слоям корнеобитаемого горизонта. Изучено влияние разноглубинной заделки измельченных соломисто-пожнивных остатков полевых культур, расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов, а также органических отходов свиного комплекса, применяемых в качестве основного удобрения, на азотный режим деградированных почв по слоям корнеобитаемого горизонта. Исследования проводили при повторном освоении деградированных дерново-подзолистых почв Северо-Западного региона Нечерноземной зоны РФ легкосуглинистого гранулометрического состава. Установлено, что по степени влияния изученных факторов на содержание легкогидролизующего азота их можно расположить в порядке снижения эффективности следующим образом: система удобрения (фактор А) → способ заделки удобрений (фактор С) → культуры севооборота (фактор В). Доказано, что за период ротации пятипольного севооборота комплексное влияние изученных факторов определяет интенсивность накопления легкогидролизующего азота в слое 0-40 см в интервале 58,8...75,3%. Остальные 41,2...24,7% изменений сопряжены с другими факторами нитрификации, и в первую очередь – с микробиологической активностью почвы в условиях изменяющихся агроклиматических ресурсов данного региона.

Ключевые слова: азотный режим, легкогидролизующий азот, осваиваемые дерново-подзолистые почвы, система удобрения, культуры севооборота, гранулометрический состав

Формат цитирования: Шевченко В.А., Соловьев А.М., Попова Н.П. Азотный режим осваиваемых дерново-подзолистых почв Нечерноземья в зернопропашном плодосменном севообороте при разных системах удобрений и обработки // Природообустройство. 2024. № 5. С. 28-36. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-28-36>

Scientific article

NITROGEN REGIME OF THE DEVELOPED SOD-PODZOLIC SOILS OF THE NON-CHERNOZEM REGION IN GRAIN-TILLING FRUIT-CHANGING CROP ROTATION UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF FERTILIZATION AND CULTIVATION

V.A. Shevchenko, A.M. Solovyov, N.P. Popova ✉

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova", 127434; 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russia

Abstract. The purpose of the research is to study the effect of multi-depth sealing of crushed straw-crop residues of field crops, calculated doses of mineral fertilizers for the planned crop yield, as well as organic waste from the pig complex used as the main fertilizer on the nitrogen regime of degraded soils along the layers of the root-inhabited horizon. The effect of different-depth incorporation of crushed straw-crop residues of field crops, calculated doses of mineral fertilizers for the planned crop yield, as well as organic waste from the pig complex used as the main fertilizer on the nitrogen regime of degraded soils along the layers of the root-inhabited horizon has been studied. The studies were carried out during

the repeated development of degraded sod-podzolic soils of the North-West region of the Non-Chernozem zone of light loamy granulometric composition. It was established that according to the degree of influence of the studied factors on the content of easily hydrolyzed nitrogen, they can be arranged in order of decreasing efficiency as follows: fertilization system (factor A) → method of incorporation of fertilizers (factor C) → crop rotation cultures (factor B). It is proved that during the rotation period of the five-field crop rotation, the complex influence of the studied factors determines the intensity of accumulation of easily hydrolyzed nitrogen in a layer of 0-40 cm in the range of 58.8...75.3%. The remaining 41.2...24.7% of the changes are associated with other nitrification factors, and primarily with the microbiological activity of the soil in the conditions of changing agro-climatic resources of the region.

Keywords: nitrogen regime, easily hydrolyzed nitrogen, developed sod-podzolic soils, fertilizer system, crop rotation cultures, granulometric composition

Format of citation: Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Popova N.P. Nitrogen regime of the developed sod-podzolic soils of the Non-chernozem region in the grain-tilling fruit-changing crop rotation under different fertilizer systems and cultivation // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 28-36. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-28-36>

Введение. В условиях Нечерноземной зоны, где азот находится в первом минимуме, главное внимание при возделывании запланированных урожаев должно быть уделено определению разницы между потребностью сельскохозяйственных культур и способностью почвы обеспечить их доступными формами азота в течение вегетационного периода [1-4].

Источником азота в почве служит органическое вещество, в котором заключено до 90% азота. Однако вовлекаемые в повторный оборот земли Нечерноземной зоны испытывают резкий дефицит азота, который ежегодно составляет 20...22 кг/га [5, 6]. Его можно уменьшить внесением расчетных доз органических и минеральных удобрений, а также с помощью выращивания однолетних и многолетних культур, в том числе бобовых, и использования растительных остатков, которые являются естественными источниками биологического азота [7-9]. Расчет баланса питательных веществ в почве необходимо выполнять с учетом типа севооборота, агрохимических показателей почвы, поступления и отчуждения элементов питания и уровня кислотности [3]. Учитывая высокую подвижность азота в почвенной среде, для составления баланса определение его содержания в почве рекомендуется выполнять ежегодно.

Нижней границей оптимального содержания легкогидролизуемого азота в пахотном слое дерново-подзолистых осваиваемых почв считается 60 мг/кг почвы. При содержании азота ниже указанной величины их относят к деградированным, поскольку посевы на таких землях не только имеют пониженную урожайность, но и характеризуется низким качеством выращенной продукции [10, 11].

Цель исследований: Изучение влияния разноглубинной заделки измельченных соломенно-пожнивных остатков полевых культур, расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов, а также органических отходов свинокомплекса, применяемых в качестве основного удобрения, на азотный режим деградированных почв по слоям корнеобитаемого горизонта.

Материалы и методы исследований. Опыты по изучению комплексного влияния систем удобрения (фактор А), способов обработки почвы (фактор С) и последствий культур севооборота (фактор В) при введении в оборот легкосуглинистых дерново-подзолистых почв на азотный режим проводили в первой ротации пятипольного плодосменного зернопашного севооборота в период с 2015 по 2019 гг. в ООО «Ручьевское» Ржевского района Тверской области, вышедших из оборота в 1994 г. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса 1,76...1,78 мг/кг – очень низкое; P_2O_5 106...109 мг/кг – повышенное; K_2O 90...100 мг/кг – среднее; pH_{KCl} 4,88...5,0 – слабокислая.

Расчет доз минеральных удобрений под запланированную урожайность выполнен по методике М.К. Каюмова [12]. Фосфорные и калийные удобрения в полной дозе вносили под основную обработку почвы. Азотные удобрения применялись дробно: под предпосевную культивацию – 50%; при посеве – 25%; в подкормки – 25% (табл. 1). Использовались: аммиачная селитра – 34% д.в.; суперфосфат простой – 20% д.в.; хлористый калий – 60% д.в. Жидкие стоки в дозе 80 м³/га заделывали с помощью технологии плановых систем под предпосевную обработку. Твердую фракцию навоза с нормой 40 т/га

распределяли по делянкам при помощи прицепно-разбрасывателя ПРТ-10. Все виды удобрений вносили по фону измельченных соломенно-пожнивных остатков предшественника и заделывали в пахотный слой осваиваемых почв тремя способами: дисковыми луцильниками на глубину 7...10 см, отвальными плугами на 18...20 см и чизельными орудиями на 27...30 см.

Пожнивно-корневые остатки имели следующий химический состав (% на сухое вещество, в среднем за годы исследований): у люпина N – 1,40; P₂O₅-0,42; K₂O – 1,48; у зерновых культур N – 0,71; P₂O₅-0,15; K₂O – 0,60.

Жидкие стоки в среднем содержали: сухих веществ – 3,0%; общего азота – 0,1%; фосфора подвижного – 0,03%; калия обменного – 0,28%, что соответствовало внесению азота – 123 кг/га, фосфора – 36 кг/га, калия 59 кг/га; рН стоков – 7,4 ед. Твердая фракция навоза имела следующий состав: сухие вещества – 35...40%; азот общий – 0,54%; фосфор подвижный – 0,29%; калий обменный – 0,60%, что также в среднем соответствовало внесению азота – 120 кг/га, фосфора – 34 кг/га, калия – 33 кг/га; рН твердой фракции – 7,9 ед.

Опыт заложен в 4-кратной повторности методом рендомизированных повторений. Площадь посевной делянки – 240 м², учетной – 120 м².

Легкогидролизующий азот определяли по Тюрину и Кононовой в модификации Кудярова, в начале и в конце вегетационного периода.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного и корреляционного анализа в изложении Б.А. Доспехова [11].

Результаты и их обсуждение. Изучено исходное содержание легкогидролизующего азота по слоям почвы при закладке опыта (табл. 2).

Установлено, что в пахотном слое 0-10 см сконцентрировано максимальное количество легкогидролизующего азота, которое (в среднем) перед внесением различных видов удобрений составило 56...57 мг/кг при коэффициенте вариации 3,6...7,1%, что принято считать незначительной разницей, поскольку изменчивость вариационного ряда не превышает 10%, а отклонение от этих величин меньше НСР₀₅ = 3,4 мг.

В пахотном слое 10-20 см обнаружена сниженная концентрация легкогидролизующего азота (53...54 мг/кг почвы), однако его содержание недостоверно отличалось от верхнего слоя почвы, поскольку разница составила 2...3 мг/кг при НСР₀₅ = 3,2 мг. Коэффициент вариации относительно среднего статистического значения данного показателя составил 3,7...5,7%, что подтверждает незначительную пестроту изучаемого показателя при закладке опыта.

Исходя из приведенных значений, можно заключить, что среднее содержание легкогидролизующего азота в пахотном слое 0-20 см составляет 55...56 мг/кг почвы. Это дает основание отнести данные осваиваемые сельскохозяйственные угодья к землям слабой степени деградации.

В слое почвы 20-30 см среднее содержание легкогидролизующего азота в момент начала исследований составило 33...34 мг/кг почвы, что на 37,7...38,9% меньше, чем в предыдущем слое почвы, а коэффициент вариации при этом был равен 2,9...8,8%. Еще меньшей была исходная концентрация азота в слое 30-40 см (17...18 мг/кг) при коэффициенте изменчивости данного показателя 5,9...17,6%, то есть в интервале колебаний от незначительной до средней величины.

Следовательно, подготовка опытного участка, включающая в себя такие агротехнические

Таблица 1. Расчетная доза NPK под запланированную урожайность каждой культуры, кг д.в./га

Table 1. Estimated dose of NPK for the planned yield of each crop, kg a.s. /ha

Культура Crop	Планируемая урожайность, ц/га Planned yield, c / ha	Внесено с учетом коэффициентов использования NPK из туков, кг д.в./га Applied taking into account NPK utilization factors from fertilizer, kg a.s. / ha		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Люпин узколистный / Narrow-leaved lupine	18	115,53	10,0	44,52
Кукуруза на силос / Corn for silage	400	43,18*	10,0	72,50
Озимая пшеница / Winter wheat	45	130,4	10,0	46,20
Яровой рапс на семена / Spring rape	20	70,95	10,0	16,27
Ячмень на фураж / Barley for fodder	40	68,45	10,0	43,10

* При расчёте азотного питания кукурузы учитывался симбиотический азот, оставленный предшественником в севообороте в количестве 105 кг/га.

* When calculating the nitrogen nutrition of maize, the symbiotic nitrogen left by the predecessor in the crop rotation in the amount of 105 kg/ha was taken into account.

Таблица 2. Исходное содержание легкогидролизуемого азота (мг/кг почвы) по слоям почвы (см) при закладке опыта, 2015 г.

Table 2. The initial content of easily hydrolyzed nitrogen (mg/kg of soil) by soil layers (cm) when laying the experiment, 2015

Система удобрения <i>Fertilization system</i>	Культуры севооборота <i>Cultures of crop rotation</i>	Слой почвы <i>Soil layers</i>			
		0-10	10-20	20-30	30-40
I. Контроль (без удобрений) <i>I. Control without fertilizers</i>	Люпин узколистный / <i>Narrow-leaved lupine</i>	59	56	35	18
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	58	55	34	17
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	56	55	33	18
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	55	53	32	17
	Ячмень / <i>Barley</i>	56	51	31	18
	В среднем / <i>On average</i>	57	54	33	18
II. Расчётные дозы мин. уд. на запланированную урожайность <i>II. Calculated doses of mineral fertilizers for the planned yield</i>	Люпин узколистный / <i>Narrow-leaved lupine</i>	57	54	34	17
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	58	53	33	18
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	56	54	32	17
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	57	55	34	18
	Ячмень / <i>Barley</i>	55	52	32	16
	В среднем / <i>On average</i>	57	54	33	17
III. Жидкие стоки, 80 м ³ /га <i>III. Liquid effluents, 80 m³/ha</i>	Люпин узколистный / <i>Narrow-leaved lupine</i>	58	55	35	17
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	55	52	33	16
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	54	53	32	17
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	55	51	31	17
	Ячмень / <i>Barley</i>	56	52	32	16
	В среднем / <i>On average</i>	56	53	33	17
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га <i>IV. Solid fraction of manure 40 t/ha</i>	Люпин узколистный / <i>Narrow-leaved lupine</i>	58	57	36	20
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	57	54	34	19
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	56	55	35	18
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	55	54	33	17
	Ячмень / <i>Barley</i>	54	52	31	18
	В среднем / <i>On average</i>	56	54	34	18
НСР ₀₅ / <i>NSR₀₅</i>		3,4	3,2	2,0	1,2

мероприятия, как удаление кустарниковой растительности, выравнивание, известкование и двухлетний уравнительный посев вико-овсяной смеси с заделкой ее измельченный надземной массы в почву в качестве сидерального удобрения, снижает агрохимическую пестроту участка и обеспечивает незначительные колебания по показателям плодородия.

Результаты комплексного влияния систем удобрения, набора сельскохозяйственных культур и способов заделки соломенно-пожнивных остатков и удобрений на содержание легкогидролизуемого азота по слоям почвы за ротацию 5-польного севооборота в мг/кг представлены в таблице 3.

Исследованиями установлено, что на динамику легкогидролизуемого азота оказывают влияние все вышеперечисленные мероприятия, однако решающее значение имеют система применения удобрения и способ их размещения в обрабатываемом слое почвы. Так, на варианте без

внесения удобрений (контроль) в конце ротации севооборота содержание легкогидролизуемого азота в слое 0-10 см при минимальной заделке соломенно-пожнивных остатков дисковыми орудиями на глубину 7...10 см осталось практически без изменения относительно первоначального значения и составило в среднем 56 мг/кг почвы при исходном содержании 56...57 мг/кг.

В слое почвы 10-20 см при данном способе обработки отмечено существенное снижение концентрации азота по сравнению с исходным значением (-7 мг/кг при НСР₀₅ = 3,3 мг); в слое 20-30 см содержание легкогидролизуемого азота также уменьшилось на 7 мг/кг при НСР₀₅ = 2,2 мг, а в слое 30-40 см снижение составило 4 мг/кг при НСР₀₅ = 1,3 мг.

При отвальном способе обработки на глубину 18...20 см без внесения удобрений в слоях 0-10 см и 10-20 см снижение концентрации азота укладывалось в статистическую погрешность опыта (-1...-2 мг/кг при НСР₀₅ = 3,3...3,5 мг),

Таблица 3. Комплексное влияние систем удобрения, сельскохозяйственных культур, мелиоративных и агротехнических приемов на динамику содержания легкогидролизуемого азота, мг/кг, по слоям почвы, см, за ротацию севооборота

Table 3. The complex effect of fertilizer systems, agricultural crops, reclamation and agro-technical techniques on the dynamics of the content of easily hydrolyzed nitrogen (mg/kg) by soil layers (cm) during crop rotation

Система удобрения (фактор А)	Культуры севооборота (фактор В)	Способ заделки (фактор С)											
		Минимальная обработка на 7-10 см				Отвальная вспашка на 18-20 см				Чизелевание на 27-30 см			
		0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
I. Контроль (без удобрений) <i>I. Control (without fertilizers)</i>	Люпин узколиственный	58	48	28	14	57	55	33	21	55	52	34	19
	Кукуруза на силос	57	47	27	13	56	54	31	19	54	51	33	17
	Озимая пшеница	55	46	26	14	55	53	30	20	52	49	32	19
	Яровой рапс	54	49	27	15	54	52	30	19	52	50	32	19
	Ячмень	55	44	24	14	54	50	28	19	52	47	29	19
	В среднем за ротацию	56	47	26	14	55	53	30	20	53	50	32	19
II. Расчетные дозы мин. уд. на запланированную урожайность +P₁₀ кг д.в./га при посеве <i>II. Calculation doses of mineral fertilizers for the planned yield + P₁₀ kg.a.s./ha when sowing</i>	Люпин узколиственный	63	57	38	20	60	59	36	24	58	56	38	22
	Кукуруза на силос	62	56	37	21	59	58	34	21	57	55	37	19
	Озимая пшеница	62	56	35	20	58	57	33	23	55	53	36	21
	Яровой рапс	64	59	39	22	59	58	35	23	56	57	37	23
	Ячмень	61	55	35	19	58	55	32	22	55	51	34	21
	В среднем за ротацию	62	57	37	20	59	57	34	23	56	54	36	21
III. Жидкие стоки, 80 м³/га + P₁₀ кг д.в./га при посеве <i>III. Liquid effluents, 80 m³/ha + P₁₀ kg.a.s./ha when sowing</i>	Люпин узколиственный	68	61	41	22	65	63	39	29	64	60	44	25
	Кукуруза на силос	65	58	39	21	64	62	37	26	65	59	42	22
	Озимая пшеница	63	59	38	22	63	61	36	27	62	57	41	24
	Яровой рапс	66	59	37	23	65	64	38	28	63	61	43	26
	Ячмень	65	57	38	22	63	59	35	29	61	55	38	24
	В среднем за ротацию	65	59	39	22	64	62	37	28	63	58	42	24
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га + P₁₀ кг д.в./га при посеве <i>IV. Solid fraction of manure, 40 t/ha + P₁₀ kg.a.s./ha when sowing</i>	Люпин узколиственный	72	67	42	25	69	66	38	26	66	62	39	22
	Кукуруза на силос	71	64	39	24	68	64	36	24	65	61	39	20
	Озимая пшеница	70	65	40	23	67	63	35	25	62	59	38	22
	Яровой рапс	73	66	38	25	69	66	37	26	67	63	40	23
	Ячмень	68	61	36	22	68	61	33	25	62	57	34	21
	В среднем за ротацию	71	65	39	24	68	64	36	25	64	60	38	22
НСР₀₅	для фактора А	3,8	3,4	2,1	1,2								
	для фактора В	3,7	3,5	2,1	1,4								
	для фактора С	3,5	3,3	2,2	1,3								
	для АВС	6,2	5,8	5,5	2,3								

в то время как в слоях почвы 20-30 и 30-40 см оно было достоверным и составило 3 и 2 мг/кг почвы при $HCP_{0,5} = 2,2$ и 1,3 мг соответственно.

Чизелевание на глубину 27-30 см обеспечивает в среднем за ротацию севооборота более равномерное распределение легкогидролизуемого азота по слоям почвы относительно других способов механической обработки, при котором существенная разница по сравнению с первоначальным значением установлена лишь для слоев 0-10 и 10-20 см, в то время как для слоя почвы 20-30 см снижение было всегда несущественным ($-1...-2$ мг/кг при $HCP_{0,5} = 2,2$ мг), а для слоя почвы 30-40 см оно также укладывалось в ошибку опыта.

Таким образом, на варианте без внесения удобрений минимальная обработка оказывает достоверное влияние на содержание легкогидролизуемого азота лишь в пахотном слое 0-10 см, отвальная вспашка – в пахотном слое 0-20 см, а безотвальное рыхление с помощью чизеля – в подпахотном слое 20-40 см.

Внесение расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность в сочетании с применением P_{10} кг д.в./га при посеве обеспечивает содержание легкогидролизуемого азота, равное исходному значению по изученным слоям почвы, при всех способах заделки соломенно-пожнивных остатков и минеральных туков. Тем не менее достоверное увеличение азота при минимальной обработке характерно только для слоя 0-10 см; при отвальной вспашке отмечена лишь положительная тенденция повышения этого соединения по всем почвенным горизонтам, а при чизелевании существенное улучшение азотного режима обнаружено в подпахотном слое 20-40 см.

Применение в безопасных дозах органических отходов свиного комплекса в качестве основного удобрения, в сочетании с заделкой измельченных соломенно-пожнивных остатков и P_{10} кг д.в./га одновременно с посевом, для оптимального развития корневой системы полевых культур обеспечило в конце ротации севооборота существенное увеличение содержания легкогидролизуемого азота по профилю почвы при всех способах обработки пахотного слоя. Так, на фоне минимальной обработки при заделке 80 м³/га жидких стоков концентрация азота относительно исходного значения в слое 0-10 см в среднем увеличилась на 8...9 мг/кг почвы, а в слоях 10-20, 20-30 и 30-40 см – на 5...6 мг/кг, что всегда было существенной прибавкой.

Заделка удобрительных средств отвальными плугами способствует равномерному

распределению легкогидролизуемого азота по всем почвенным слоям, однако при этом наибольшее положительное влияние данный способ обработки оказывает на пахотный слой почвы 0-20 см, в котором увеличение содержания азота по сравнению с первоначальным значением составило 5...8 мг/кг почвы, в то время как в подпахотном слое 20-30 см его концентрация в конце ротации повысилась лишь на 3...4 мг/кг почвы. Вместе с тем жидкие стоки свиноводческого комплекса при их ежегодном внесении за счет повышенной фильтрации существенно повысили содержание легкогидролизуемого азота также и в слое 30-40 см ($+4...5$ мг/кг почвы при $HCP_{0,5} = 1,3$ мг).

В нашем опыте ежегодная заделка жидких стоков чизелеванием на глубину 27... 30 см обеспечивала более равномерное распределение азота по всем почвенным слоям относительно других способов заделки. При этом в слое 0-10 см содержание этого соединения в конце ротации севооборота было на 1...2 мг/кг ниже, чем на вариантах с отвальной вспашкой и минимальной обработкой. В слое 10-20 см оно также уменьшилось на 1...4 мг/кг почвы, однако в слое 20-30 см концентрация азота при чизельной обработке повысилась на 3...5 мг/кг, а в слое 30-40 см – на 2...4 мг/кг почвы.

Следовательно, заделка жидких животноводческих стоков чизельной обработкой почвы способствует гомогенному распределению и лучшему закреплению легкогидролизуемого азота по всему корнеобитаемому слою, в то время как минимальная обработка обеспечивает максимальное накопление азота только в самом верхнем горизонте 0-10 см.

Внесение в качестве удобрения твердой фракции навоза по фону измельченных соломенно-пожнивных остатков и P_{10} кг/га д.в. при посеве способствовала в среднем за ротацию максимальному накоплению азота при всех способах обработки почвы как относительно контрольного варианта, так и других систем удобрения. По сравнению с исходным значением содержание легкогидролизуемого азота в слое 0-10 см возросло при минимальной обработке на 14...15 мг/кг, при отвальной вспашке – на 11...12 мг/кг, при чизелевании – на 7...8 мг/кг почвы. Заделка твердой фракции навоза обеспечила увеличение содержания азота по сравнению с минеральной системой удобрения в слое 0-10 см при минимальной обработке на 9 мг/кг, в слое 10-20 см – на 8 мг/кг, в слое 20-30 см – на 2 мг/кг, в слое 30-40 см – на 4 мг/кг почвы.

Применение твердой фракции навоза в качестве основного удобрения имело преимущество в накоплении легкогидролизуемого азота по сравнению с заделкой жидких стоков на освоенных легкосуглинистых почвах Верхневолжья. Так, при минимальной обработке содержание легкогидролизуемого азота по мере углубления почвенных слоев с интервалом 10 см от заделки твердой фракции возрастало в среднем за ротацию на 6 мг/кг почвы в пахотном слое 0-20 см и на 1 мг/кг в подпахотном слое 20-40 см. При отвальной вспашке и при чизелевании отмечено увеличение этого соединения только в пахотном слое (соответственно на 3 и 2 мг/кг почвы), в то время как в подпахотном горизонте преимущество в накоплении легкогидролизуемого азота остается за внесением жидких стоков в дозе 80 м³/га, что объясняется их высокой просачиваемостью в нижние слои под действием гравитации.

При изучении влияния культур севооборота (фактор В) на динамику содержания легкогидролизуемого азота за ротацию севооборота нами не установлено существенных различий между ними по его накоплению как при одинаковом фоне удобрения (фактор А), так и при изучении почвенных проб, взятых с одинаковых почвенных слоев, и равном способе обработки пахотного слоя почвы (фактор С). Тем не менее максимальное содержание азота в конце ротации относительно средних значений обеспечивали люпин узколистный и яровой рапс, которые накапливали в изученных слоях при всех способах заделки соломисто-пожнивных остатков и удобрений на 1...3 мг/кг почвы больше этого соединения, чем другие культуры севооборота при НСР₀₅ = 1,4...3,7 мг. Это, по нашему мнению, объясняется, во-первых, наличием стержневой корневой системы, во-вторых – активной симбиотической фиксацией азота у люпина.

Растения с мочковатой корневой системой (озимая пшеница, ячмень) и многоярусной узловой (кукуруза) не оказывают заметного влияния на динамику накопления легкогидролизуемого азота в аналогичных почвенных слоях.

На основании анализа полученных данных можно заключить, что достоверное влияние от комплексного действия изученных факторов (при взаимодействии АВС) относительно контрольного варианта на динамику накопления легкогидролизуемого азота при освоении выбывших из производственного использования почв сельскохозяйственного назначения оказывает внесение органических отходов свиноводческих

комплексов в сочетании с припосевным внесением фосфорных удобрений.

Вместе с тем следует отметить, что многолетнее применение минимальной обработки обеспечивает существенное увеличение этого соединения только в самом верхнем слое 0-10 см, отвальная вспашка – в пахотном слое почвы 0-20 см, а чизелевание – в подпахотном слое 20-40 см.

В итоге на содержание легкогидролизуемого азота в почвенных слоях малопродуктивных земель с промывным типом водного режима изученные факторы можно расположить в порядке их убывания следующим образом: система удобрения (фактор А) → способ заделки соломисто-пожнивных остатков и удобрений (фактор С) → культуры севооборота (фактор В).

На основании расчетов, выполненных по корреляционной зависимости содержания легкогидролизуемого азота от комплексного влияния систем удобрения, сельскохозяйственных культур в севообороте и способов заделки удобрений, установлено, что в среднем за ротацию коэффициент корреляции между концентрацией легкогидролизуемого азота и вносимыми удобрениями укладывается в интервал 0,64...0,71 ед., что соответствует средней или сильной зависимости.

Между набором сельскохозяйственных культур в севообороте и концентрацией азота в корнеобитаемом слое почвы 0-40 см отмечена слабая взаимосвязь (0,22...0,27 ед.), в то время как относительно способов заделки удобрений по фону измельченных соломисто-пожнивных остатков выявлена средняя коррелятивная зависимость (0,36...0,42 ед.).

Если на основании коэффициентов корреляции можно судить о перспективном направлении, обеспечивающем стабилизацию азотного режима малопродуктивных почв (в данном случае это система удобрения), то с помощью определения коэффициентов детерминации представляется возможность выявить долю любого фактора в накоплении легкогидролизуемого азота в почве. В нашем опыте степень сопряженности вносимых удобрений с динамикой накопления легкогидролизуемого азота в корнеобитаемом слое 0-40 см составляет 41,0...50,4%, с набором культур в севообороте – 4,8...7,3%, со способами заделки удобрений – 13,0...17,6%.

В сумме комплексное влияние систем удобрения, полевых культур и способов заделки удобрений в пахотный слой определяет интенсивность накопления легкогидролизуемого азота в слое 0-40 см в интервале 58,8...75,3%. Остальные 41,2...24,7% сопряжены с другими

факторами нитрификации и, на наш взгляд, в первую очередь – с микробиологической активностью почвенной биоты в конкретных почвенно-климатических условиях.

Выводы

1. Внесение расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов сельскохозяйственных культур по фону измельченных соломисто-пожнивных остатков обеспечивает в конце ротации пятипольного плодосменного зернопропашного севооборота достоверное увеличение легкогидролизуемого азота при минимальной обработке только в слое 0-10 см, в то время как при отвальной вспашке обнаружена лишь положительная тенденция его увеличения по всем почвенным горизонтам, а при чизелевании установлено существенное улучшение азотного режима в подпахотном слое 20-40 см.

2. Применение органических отходов свиноксеплекса в безопасных дозах в качестве основного удобрения обеспечило в конце ротации

севооборота существенное повышение легкогидролизуемого азота по профилю почвы при всех способах их утилизации. Тем не менее заделка твердой фракции навоза способствовала максимальному накоплению легкогидролизуемого азота при изученных приемах обработки почвы относительно изученных систем удобрения в пахотном слое 0-20 см, в то время как в подпахотном слое 20-40 см преимущество в увеличении его концентрации остается за внесением жидких стоков, что объясняется их высокой просачиваемостью в нижние слои почвы под действием сил гравитации.

3. По степени влияния на содержание легкогидролизуемого азота в почвенных слоях малопродуктивных дерново-подзолистых почв легкосутлинистого гранулометрического состава, вовлекаемых в производственный оборот, изученные факторы можно расположить в порядке снижения их эффективности следующим образом: система удобрения (фактор А) → способ заделки удобрений (фактор С) → культуры севооборота (фактор В).

Список использованных источников

1. **Завалин А.А., Соколов О.А.** Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней: учебное пособие. М.: ВНИИА, 2015. 96 с.
2. **Сычев В.Г.** Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с.
3. **Налиухин А.Н.** Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы и продуктивности зернотравяного севооборота в зависимости от баланса питательных веществ / Ерегин А.В., Демидов Д.В., Гусева Ю.Е., Хрунов А.А. // *Агрохимия*. 2023. № 1. С. 3-12. DOI: 10.31857/S0002188123010076, EDN: FDSRZR
4. **Шевченко В.А.** Регулирование баланса потоков биогенных элементов в агроэкосистемах осваиваемых и старопахотных земель Нечерноземной зоны: монография / В.А. Шевченко, Н.С. Матюк, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. 161 с.
5. **Завалин А.А., Чернова Л.С.** Ресурсы биологического азота и его использование в земледелии России // *Плодородие почв России: состояние и возможности: Сборник статей (к 100-летию со дня рождения Тамары Никандровны Кулаковской)* / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2019. С. 40-49.
6. **Шафран С.А.** Динамика содержания питательных веществ в дерново-подзолистых почвах в длительных полевых опытах / Ермаков А.А., Семенова А.И., Яковлева Т.А. // *Плодородие*. 2020. № 4. С. 7-9. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.02.
7. **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.

References

1. **Zavalin A.A., Sokolov O.A.** Nitrogen fluxes in the agroecosystem: from the ideas of D.N. Pryanishnikov to the present day. Moscow: VNIIA; 2016. 591 p.
2. **Sychev V.G.** The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation. M.: RAS, 2019. 325 p.
3. **Naliukhin A.N., Eregin A.V., Demidov D.V., Guseva Yu.E., Khrunov A.A.** Changes in agrochemical properties of sod-podzolic soil and productivity of grain-grass crop rotation depending on the balance of nutrients // *Agrokhimiya*. 2023. No. 1. P. 3-12. DOI: 10.31857/S0002188123010076, EDN: FDSRZR
4. **Shevchenko V.A., Matyuk N.S., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.** Regulation of the balance of flows of biogenic elements in agroecosystems of developed and old arable lands of the Non-Chernozem zone. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2022. 161 p.
5. **Zavalin A.A., Chernova L.S.** Biological nitrogen resources and its use in agriculture in Russia/ In the collection: *Soil fertility in Russia: status and capabilities. Collection of articles (dedicated to the 100th anniversary of the birth of Tamara Nikandrovna Kulakovskaya)*. Edited by V.G. Sychev. Moscow, 2019. P. 40-49.
6. **Shafran S.A., Ermakov A.A., Semenova A.I., Yakovleva T.A.** Dynamics of nutrient content in sod-podzolic soils in long-term field experiments // *Fertility*. 2020. No. 4. P. 7-9. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.02
7. **Shevchenko V.A., Kobozeva T.P., Popova N.P.** Optimization of the feed value of corn and soy silage on reclaimed lands of the Non-Chernozem region. M.: Federal State Budgetary Institution "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov". 2018. 204 p.
8. **Ermalaev S.A., Sychev V.G., Plushikov V.G.** Agrochemical and ecological state of soils of Russia // *Plodorodiye*. 2001. No. 1. P. 4-7.

8. Ермалаев С.А., Сычев В.Г., Плющиков В.Г. Агрохимическое и экологическое состояние почв России // Плодородие. 2001. № 1. С. 4-7.

9. Шарков И.Н. Эффективность азотного удобрения при увеличении поступления в почву растительных остатков в лесостепи Западной Сибири / Колбин С.А., Прозоров А.С., Самохвалова Л.М. // Агрохимия. 2022. № 3. С. 22-30. DOI: 10.31857/S0002188122030097.

10. Шевченко В.А. Перспективы производства растениеводческой продукции на мелиорированных землях Нечерноземной зоны России: монография. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2017. 918 с.

11. Каюмов М.К. Программирование урожая сельскохозяйственных культур: учебник. М.: Агропромиздат, 1989. 320 с.

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Об авторах

Виктор Александрович Шевченко, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», SPIN-код: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685; Scopus Author ID57209792752; WOS Research ID A-8909-2016; shevchenko.v.a@yandex.ru

Алексей Малахович Соловьев, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий отделом управления плодородием почв мелиорируемых земель Нечерноземной зоны; SPIN-код: 6080-1245; ORCID: 0000-0002-8387-0989; ID РИНЦ 756344; Scopus Author ID57219090365; WOS Research ID HGE-8331-2022; solo-a45@mail.ru

Наталья Павловна Попова, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель Нечерноземной зоны; SPIN-код: 1891-2369; ORCID: 0000-0002-9301-027X; ID РИНЦ 891027; Scopus Author ID57219096264; WOS Research ID HGE-8317-2022; lyn.popova@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Шевченко В.А., Соловьев А.М., Попова Н.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 interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.09.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.09.2024

9. Sharkov I.N., Kolbin S.A., Prozorov A.S., Samokhvalova L.M. Efficiency of nitrogen fertilizer with an increase in the intake of plant residues into the soil in the forest-steppe of Western Siberia // Agrokimiya. 2022. No. 3. P. 22-30. DOI: 10.31857/S0002188122030097

10. Shevchenko V.A. Prospects of crop production on reclaimed lands of the Non-Chernozem zone of Russia: monograph. – Federal State Budgetary Institution “VNIIGiM named after A.N. Kostyakov”. 2017 P. 27-65.

11. Kayumov M.K. Programming of agricultural crops. M.: Agropromizdat, 1989. 320 p.

12. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). – 5th ed., supplement and revision – M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

Information about the authors

Viktor A. Shevchenko, DSc (Agro), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; SPIN code: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; RSCI ID479685; Scopus Author ID57209792752; WOS Research ID A-8909-2016; shevchenko.v.a@yandex.ru

Alexey M. Solovyov, DSc (Agro), professor, head of the department of soil fertility management of reclaimed lands of the Non-Chernozem zone of the «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; SPIN code: 6080-1245; ORCID: 0000-0002-8387-0989; ID RSCI 756344; Scopus Author ID57219090365; WOS Research ID HGE-8331-2022; solo-a45@mail.ru

Natalia P. Popova, CSc (Agro), associate professor, leading researcher of the department of soil fertility management of reclaimed lands of the Non-Chernozem zone of the «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; SPIN code: 1891-2369; ORCID: 0000-0002-9301-027X; RSCI ID891027; Scopus Author ID57219096264; WOS Research ID HGE-8317-2022; lyn.popova@yandex.ru

Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Popova N.P. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-37-42>

УДК 631.445.12:630*43:631.1:631.436



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВ САМОВОЗГОРАНИЯ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

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

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

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований способности торфяной почвы самовозгораться в зависимости от степени ее разложения, зольности, химического состава и объемной плотности. Целью лабораторных экспериментальных исследований являлось изучение влияния физико-химических свойств торфа на возникновение эффекта самовозгорания. Среди осушенных земель наиболее перспективными для целей сельскохозяйственного производства являются торфяники, которые обладают необходимым плодородием и площадь которых в РФ достигает порядка 320 млн га. Больше половины из них имеют слой торфяной почвы не менее 30 см, что отвечает требованиям, предъявляемым к почвам, рекомендуемым для введения в сельскохозяйственный оборот. Следует отметить, что более 70% почв Нечерноземной зоны России представлено малоплодородными дерново-подзолистыми почвами, и произведенная на них продукция растениеводства обладает высокой себестоимостью по причине низкой урожайности и необходимости внесения высоких доз удобрений. Органическое вещество торфа состоит из углерода, водорода, кислорода, серы и азота, поэтому торф обладает высоким плодородием и представляет интерес для целей выращивания сельскохозяйственных культур. Тем не менее следует отметить, что данный тип почв является пожароопасным. Торф имеет сложный химический состав, который определяется условиями генезиса, химическим составом растений-теплообразователей и степенью разложения. Элементарный состав торфа на горючую массу: углерод – 50-60%; водород – 5-6,5%; кислород – 30-40%; азот – 1-3%; сера – 0,5-2,5%. Присутствие в торфе серы дает в результате взаимодействия с кислородом сернистый газ (SO_2), который раздражающе действует на верхние дыхательные пути человека и глаза, и сероводород (H_2S) – очень токсичное газообразное вещество. Показателями, определяющими способность торфа к возгоранию, являются степень разложения, зольность и объемная плотность.

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

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

Формат цитирования: Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Гузалов А.С. Экспериментальные исследования возникновения очагов самовозгорания на торфяных почвах Тверской области // Природообустройство. 2024. № 5. С. 37-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-37-42>

Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE OCCURRENCE OF SPONTANEOUS COMBUSTION CENTERS ON PEAT SOILS OF THE TVER REGION

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

¹Russian Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkin; 127434, Moscow, Timiryazevskaya street, 49, Russia

Abstract. This article presents the results of experimental studies of the ability of peat soil to spontaneously ignite, depending on its degree of decomposition, ash content, chemical composition and bulk density. The purpose of conducting laboratory experimental studies was to study the effect of physicochemical properties of peat on the occurrence of the spontaneous combustion effect. Among drained lands, the most promising for agricultural production are peatlands that have the necessary fertility, the area of which in the Russian Federation reaches about 320 million hectares, more than half

of which have a peat soil layer of at least 30 cm, which meets the requirements for soils recommended for introduction into agricultural circulation. It should be noted that more than 70% of the soils of the Non-Chernozem zone of Russia are represented by low-fertility sod-podzolic soils, and plant products produced on them have a high cost due to low yields and the need for high doses of fertilizers. Organic matter of peat consists of carbon, hydrogen, oxygen, sulfur and nitrogen, therefore peat has high fertility and is of interest for the purposes of growing agricultural crops, however, it should be noted that this type of soil is fire hazardous. Peat has a complex chemical composition, which is determined by the conditions of genesis, the chemical composition of heat-generating plants and the degree of decomposition. The elemental composition of peat: carbon 50-60%, hydrogen 5-6.5%, oxygen 30-40%, nitrogen 1-3%, sulfur 0.5-2.5% of combustible mass. The presence of sulfur in peat produces sulfur dioxide (SO_2) as a result of interaction with oxygen, which irritates the upper respiratory tract of a person and eyes, and hydrogen sulfide (H_2S) – a very toxic gaseous substance. The indicators that determine the ability of peat to ignite are the degree of decomposition, ash content and bulk density.

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

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

Format of citation: Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.S. Experimental studies of the occurrence of spontaneous combustion centers on peat soils of the Tver region // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 37-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-37-42>

Введение. В летний период в Нечерноземной зоне России выпадает незначительное количество осадков. Температура воздуха достигает высоких значений, что определяет глубокое положение грунтовых вод, разрыв капиллярных связей с поверхностью торфа, увеличение его инфильтрационной способности, и как результат – рост числа возгораний на торфяниках. Такая ситуация складывается в первую очередь на осушенных землях, предназначенных для сельскохозяйственного использования, после проведения на них рекультивационных работ, а также на неосушенных болотах верхового и переходного типов с атмосферным типом водного питания. Ситуация осложняется и тем, что в результате глобального потепления климата происходит повышение дневных и ночных температур воздуха, что негативно сказывается на пожарной обстановке [1].

Торф обладает склонностью к самовозгоранию в зависимости от условий его образования и состава торфообразующих природных компонентов. Он химически и энергетически неоднороден, поэтому его пожароопасность также неоднородна. Как правило, окислительные процессы, протекающие в торфяной почве, происходят с выделением значительного количества теплоты, которая накапливается и при недостаточном ее теплоотводе приводит к эффекту саморазогрева, что инициирует процесс самовозгорания, который на начальной стадии протекает в режиме тления [2].

Материалы и методы исследований.

Отбор проб был произведен на территории месторождения торфа Васильевский мох Тверской

области, на землях сельскохозяйственного назначения, в двух точках – соответственно с маркировкой Т1 и Т2. На рисунках 1, 2 показаны места, где брались пробы.

Был определен физико-химический состав проб по стандартным методикам [3-7]. Результаты анализа приведены в таблице.

Лабораторный эксперимент теплофизических процессов самовозгорания, происходящих в торфяной почве под действием температур окружающего воздуха, проводился по методике, разработанной ВНИИПО [8-11].

Контейнеры с торфом размещались в лабораторном сушильном шкафу, внутри их устанавливались термодатчики ДТКП-0,5-4, фиксирующие значения температур у поверхности и в центре торфяной почвы. Опыт считался завершенным при появлении очага тления, что фиксировалось комплексом компании ОВЕН. Принципиальная схема представлена на рисунке 3.

В процессе лабораторных исследований использовалось оборудование: сушильный шкаф СНОЛ-3.5; термодатчики ДТКП-0.5-4; измеритель-регистратор 8-канальный ОВЕН; программное обеспечение ОВЕН; весы АСЗЕТ СУ-513, предел взвешивания – 510 г, точность – 0,001 г; контейнер из латунной сетки 30 × 30 мм.

В процессе экспериментальных исследований в сушильном шкафу задавалась температура 58°C для моделирования природных условий. Определялась также температура активации химического процесса саморазогрева образцов торфа в зависимости от его физико-химического состава (табл.).

	Информация
Тип	Объект недвижимости
Вид	Земельный участок
Кадастровый номер	69:10:0000030:472
Адрес	Российская Федерация, Тверская область, мкр-н Калининский
Площадь уточненная	1069749 кв. м
Статус	Учтенный
Категория земель	Земли сельскохозяйственного назначения
Разрешенное использование	Для сельскохозяйственного производства



Рис. 1. Место отбора образцов торфа с маркировкой Т1

Fig. 1. Peat sampling site marked

	Информация
Тип	Объект недвижимости
Вид	Земельный участок
Кадастровый номер	69:10:0000029:1005
Адрес	Российская Федерация, Тверская область, р-н Калининский, с/п Верхневолжское
Площадь уточненная	2473303 кв. м
Статус	Учтенный
Категория земель	Земли сельскохозяйственного назначения
Разрешенное использование	Для сельскохозяйственного производства



Рис. 2. Место отбора образцов торфа с маркировкой Т2

Fig. 2. Peat sampling site marked T2

Таблица. Физико-химический состав образцов торфа

Table. Physical and chemical composition of peat samples

№	Гигроскопическая влажность, % <i>Hygroscopic humidity</i>	Сера подвижная, млн-1 <i>Mobile sulfur, mln-1</i>	Массовая доля железа, млн-1 (валовая форма) <i>Mass fraction of iron (weight form), mln-1</i>	Массовая доля зольности, % <i>Mass fraction of ash content, %</i>	Общий (органический) углерод <i>Total (organic) carbon</i>	Метод степени разложения <i>Decomposition degree method</i>
	ГОСТ 5180 <i>GOST 5180</i>	ГОСТ 26490 <i>GOST 26490</i>	М МВИ-80-2008	ГОСТ 27784-88 <i>GOST 27784-88</i>	Метод сухого сжигания <i>Dry burning method</i>	ГОСТ 10650 <i>GOST 10650</i>
T1	13,88	19,5	3287,5	77,53	22,47	35,2
T2	20,14	6,6	2381,25	33,99	66,0	4,8

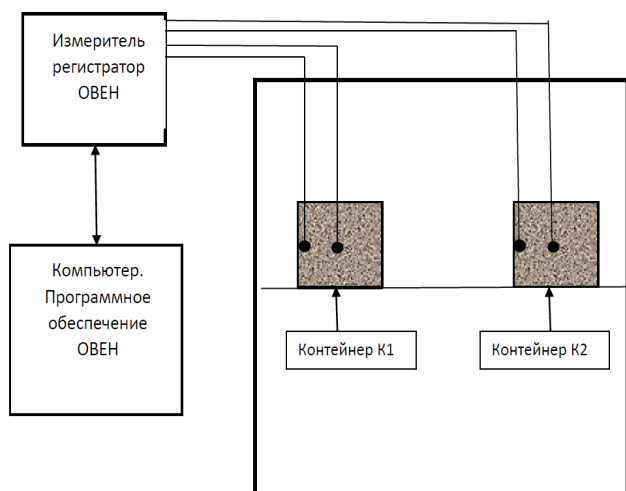


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки

Fig. 3. Schematic diagram of the experimental facility

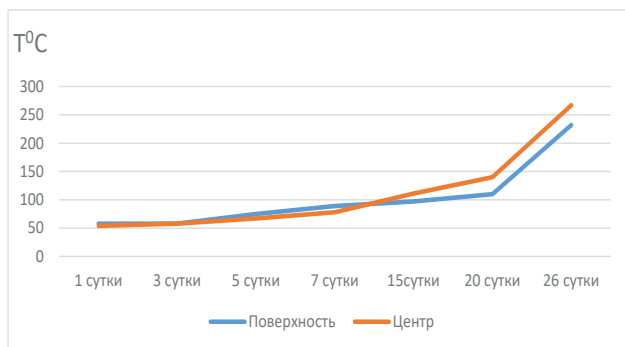


Рис. 4. Динамика саморазогрева торфа Т1 плотностью 1 г/см^3 до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К1

Fig. 4. Dynamics of self-heating of peat T1 with a density of 1 г/см^3 before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K1

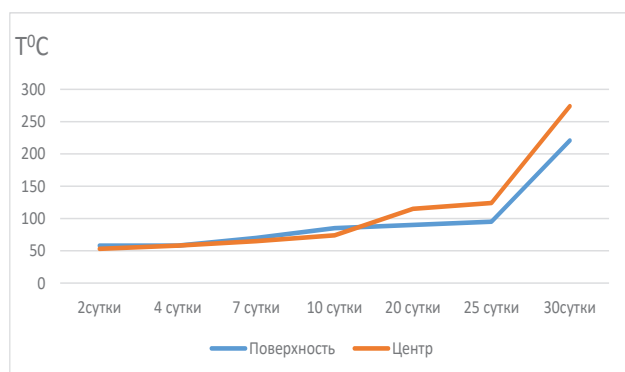


Рис. 5. Динамика саморазогрева торфа Т1 плотностью $1,15 \text{ г/см}^3$ до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К2

Fig. 5. Dynamics of self-heating of peat T1 with a density of $1,15 \text{ г/см}^3$ before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K2

Образцы торфа с маркировкой Т1 испытывались при исходной влажности 36,05% и температуре окружающей среды 58°C , маркировка Т2 – соответственно 36,53%, при указанной выше температуре. Значения температуры поверхности и теплофизического центра образцов фиксировались с частотой в 1 с. В процессе эксперимента в сушильном шкафу с 8.00 до 18.00 поддерживалась температура 58°C , в вечернее и ночное время она составляла 20°C , что соответствует природным условиям. Согласно нашим исследованиям температура поверхности торфяной почвы может достигать 80°C и выше.

Плотность образцов для Т1 составила, соответственно, $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$ для первого контейнера К1 и $\rho_2 = 1,15 \text{ г/см}^3$ для второго контейнера К2. Результаты представлены на рисунках 4, 5 соответственно.

Из результатов сравнения результатов следует, что при большей плотности эффект самовозгорания происходит через больший промежуток времени. На рисунке 6 представлена фотография тлеющего образца торфа, из которой можно сделать вывод о том, что самовозгорание произошло в центре контейнера с образцом торфяной почвы.

Эксперимент был выполнен также с образцами торфа с маркировкой Т2. Физико-химический состав представлен в таблице при плотности $\rho_1 = 0,9 \text{ г/см}^3$ (контейнер К1) и $\rho_2 = 1,2 \text{ г/см}^3$ (контейнер К2). Данный образец характеризуется малой степенью разложения по сравнению с Т1-6,6 и 35,2, меньшей зольностью – 33,99 и 77,53, большим содержанием общего углерода – 66,0 и 22,47 соответственно. Результаты представлены рисунках 7, 8, из которых следует, что так же, как и с образцом Т1, с увеличением плотности торфа увеличивается время до его самовозгорания.

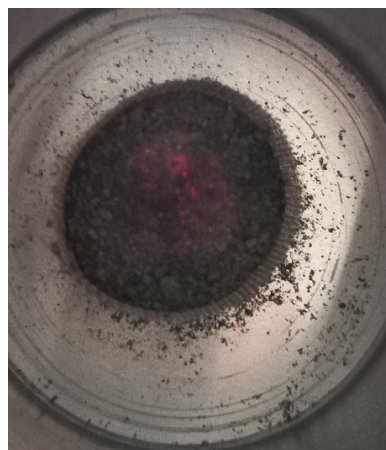


Рис. 6. Тление образца торфа Т1
Fig. 6. Smoldering of a T1 peat sample

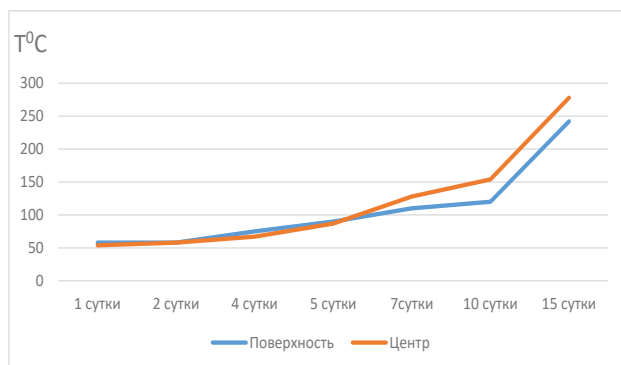


Рис. 7. Динамика саморазогрева торфа Т2 плотностью 0,9 г/см³ до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К1

Fig. 7. Dynamics of self-heating of peat T2 with a density of 0.9 g/cm³ before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K1

Выводы

1. Из результатов экспериментальных исследований следует, что поверхности и центры образцов торфа с маркировками Т1 и Т2 с большей плотностью имели температуру ниже, чем менее плотные, что увеличивало время до их самовозгорания.

2. Более плотные образцы самовозгорались за больший промежуток времени, чем менее плотные, что говорит о снижении пожароопасности торфяной почвы с увеличением ее плотности.

Список использованных источников

1. Зайдельман Ф.Р. Гидрогеологический режим почв Нечерноземной зоны. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 328 с.
2. Зайдельман Ф.Р. О глубоком осушении торфяников // Гидротехника и мелиорация. 1960. № 11. С. 25-31.
3. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. URL: <https://www.stroymoslab.ru/sites/default/files/uslugi/5180-2015.pdf>.
4. ГОСТ 26490-85 действующий. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО Soils. Determination of mobile sulfur by CINAO method 07.11.201207.1.201201.07.1986.
5. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложений методами атомно-абсорбционной спектроскопии. Санкт-Петербург, 2008. URL: <https://www.opengost.ru/iso/4519-m-mvi-80-2008-metodika-vypolneniya-izmereniy-massovoy-doli-elementov-v-probah-pochv-gruntov-i-donnyh-otlozheniyah-metodami-atomno-emissionnoy-spektrometrii.html?ysclid=m24tpd621s908483595>.
6. ГОСТ 27784-88. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. URL: https://rosgosts.ru/file/gost/13/080/gost_27784-88.pdf?ysclid=m24tqvwmdbp23131695.

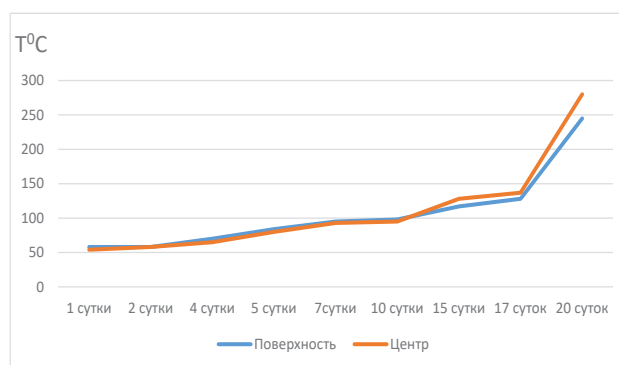


Рис. 8. Динамика саморазогрева торфа Т2 плотностью 1,2 г/см³ до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К2

Fig. 8. Dynamics of self-heating of peat T2 with a density of 1.2 g/cm³ before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K2

3. С уменьшением плотности торфяной почвы длина волны горения становится короче, повышается ее насыщенность кислородом, что сокращает время до ее самовозгорания.

4. Самовозгорание образцов торфа с маркировкой Т2 наступало раньше, чем самовозгорание торфяной почвы Т1, на 4 и 5 суток соответственно, в зависимости от плотности и по причине того, что они имели меньшую степень разложения и большее содержание углерода.

5. Пожарную безопасность торфяных почв можно повысить почвенными обработками для увеличения ее плотности.

References

1. Seidelman F.R. Hydrological regime of soils of the Non-Chernozem zone. L.: Hydrometeoizdat, 1985. 328 p.
2. Seidelman F.R. On deep drainage of peat bogs // Hydraulic engineering and land reclamation. 1960. No. 11. P. 25-31.
3. GOST 5180-2015 Soils methods for laboratory determination of physical characteristics. <https://www.stroymoslab.ru/sites/default/files/uslugi/5180-2015.pdf>
4. GOST 26490-85 is valid. Soils. Determination of mobile sulfur by the TSINAO Soils method. Determination of mobile sulfur by CINAO method 07.11.201207.11.2012 01.07.1986.
5. M-MVI-80-2008. The method of measuring the mass fraction of elements in samples of soils, soils and bottom sediments by atomic absorption spectrometry. St. Petersburg, 2008. <https://www.opengost.ru/iso/4519-m-mvi-80-2008-metodika-vypolneniya-izmereniy-massovoy-doli-elementov-v-probah-pochv-gruntov-i-donnyh-otlozheniyah-metodami-atomno-emissionnoy-spektrometrii.html?ysclid=m24tpd621s908483595>
6. GOST 27784-88 Method for determining the ash content of peat. And detached soil horizons. https://rosgosts.ru/file/gost/13/080/gost_27784-88.pdf?ysclid=m24tqvwmdbp23131695

7. ГОСТ 10650-2013. Торф. Методы определения степени разложения. Технические условия 01.02.2020. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/56057/?ysclid=m24ts2dfdr643891897>.

8. Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Евграфов А.В. Результаты исследований температурного режима осушаемой торфяной почвы // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 1. С. 45-49. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-45-49. EDN: VDZKKJ.

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

10. Kasichke E.S., Bruhwiler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fire in 1998 // *J. Geophys. Res.* 2003. 108 (D1). 8146. DOI: 10.1029/2001JD000461.

11. Larson T.V., Koenig J.Q. Wood smoke Emissions and Non Cancer Respiratory Effects // *Annual Review of Public Health*. 1994. Vol. 15. Pp. 133-156.

7. GOST 10650-2013 Peat. Methods for determining the degree of decomposition. Technical specifications 01.02.2020. <https://internet-law.ru/gosts/gost/56057/?ysclid=m24ts2dfdr643891897>

8. Didmanidze O.N. Results of studies of the temperature regime of drained peat soil / O.N. Didmanidze, E.P. Parlyuk, A.V. Evgrafov // *Agroengineering*. 2023. T. 25, No. 1. pp. 45-49. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-1-45-49. – ED. VDZKKJ.

9. Kiselev Ya.S. Physical gorenje models in the fire safety system: monograph / Khoroshilov O.A., Demekhin F.V. / EMERCOM of Russia St. Petersburg State University. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2009, 347 p. ISBN: 978-5-7422-2150-0

10. Kasichke E.S., Bruviler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide and methane as a result of forest fires in boreal forests in 1998//*J. Geophys. Res.* 2003. 108 (D1). 8146, doi: 10.1029/2001JD000461.

11. Larson T.V., Koenig J.K. Wood smoke emissions and non-cancer-related respiratory effects // *Annual review of Public Health*. 1994. Volume 15. P. 133-156.

Об авторах

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

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

Артембек Сергеевич Гузалов, канд. техн. наук; ORSID: 0000-0003-3526-4332; AuthorID: 1036988; aguzalov@mail.ru

About the authors

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

Alexey V. Evgrafov, Doctor of Technical Sciences, associate professor; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; labpoliv@list.ru

Artembek S. Guzalov, Ph.D., Associate Professor; ORSID: 0000-0001-8984-4426, AuthorID: 416620; aguzalov@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

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

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 08.08.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.09.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.09.2024

Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-43-48>

УДК 631.4:631.6:631.559:631.86



ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛИОРАНТА ПОЧВЫ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Д.М. Бенин, Н.А. Мочунова, Ю.А. Широков

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

Аннотация. Представлены результаты разработки состава и технологии производства мелиоранта почвы на основе органических и минеральных отходов свекловичного севооборота и сахарного производства. Цель исследований – разработать состав мелиоранта почвы, технологию комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нехозяйственной части растений свекловичного севооборота и проверить эффективность на посевах сахарной свеклы. Проблема деградации почв ввиду интенсификации производства сахарной свеклы решается путем возврата органических и минеральных веществ, накопленных в отходах сахарного производства и нехозяйственной части биомассы растений свекловичного севооборота, обратно в почву для ее рекультивации. Мелиорант включает в себя дефекат, смешанный с водным раствором гуматов низинного торфа и органических остатков биомассы растений свекловичного севооборота. Используются физические методы активации гуматов путем воздействия ультразвуковыми колебаниями и сверхвысоким давлением микровзрывов пузырьков воздуха в гидродинамическом кавитационном генераторе. Учет, наблюдение и оценка биологической и хозяйственной эффективности проводились по общепринятым методикам и в соответствии с методическими рекомендациями Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР). Математическая обработка урожайных данных проведена по Б.А. Доспехову. Показано, что внесение мелиоранта в почву при выращивании сахарной свеклы позволило повысить урожайность на 6,9%, а сбор сахара – на 11,2%. Основным преимуществом предлагаемого способа производства мелиоранта почвы является то, что обеспечивается максимально возможный возврат вынесенных с урожаем питательных элементов обратно в почву. Кроме того, использование побочных продуктов и отходов сахарной промышленности позволяет вернуть для использования в земледелии тысячи гектаров земель, занятых отвалами.

Ключевые слова: почва, мелиорант, сахарное производство, дефекат, сточные воды, торф, гуматы, ультразвук, кавитация, урожайность

Формат цитирования: Бенин Д.М., Мочунова Н.А., Широков Ю.А. Технология производства мелиоранта почвы и оценка эффективности его применения // Природообустройство. 2024. № 5. С. 43-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-43-48>

Scientific article

TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF SOIL AMELIORANT AND ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ITS APPLICATION

D.M. Benin, N.A. Mosunova, Yu.A. Shirokov

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

Abstract. The results of the development of the composition and technology of production of soil ameliorant based on organic and mineral waste from beet crop rotation and sugar production are presented. The purpose of the study: to develop the composition of the soil ameliorant and the technology of complex utilization of beet sugar production waste and non-economic parts of beet crop rotation plants and to test the effectiveness on sugar beet crops. The problem of soil degradation due to the intensification of sugar beet production is solved by returning organic and mineral substances accumulated in sugar production waste and non-economic part of the biomass of beet crop rotation plants back to the soil for its reclamation. The ameliorant includes a defecate mixed with an aqueous solution of humates of lowland peat and organic residues of biomass of beetroot crop rotation plants. Physical methods of activation of humates are used by exposure to ultrasonic vibrations and ultrahigh pressure of micro-explosions of air

bubbles in a hydrodynamic cavitation generator, Accounting, observation and evaluation of biological and economic efficiency were carried out according to generally accepted methods and in accordance with the methodological recommendations of the All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection (VISR). Mathematical processing of crop data was carried out according to B.A. Dospekhov. It is shown that the introduction of ameliorant into the soil during the cultivation of sugar beet allowed to increase yields by 6.9%, and sugar harvesting by 11.2%. The main advantage of the proposed method of producing soil ameliorant is that it ensures the maximum possible return of nutrients carried out with the harvest back into the soil. In addition, the use of by-products and waste from the sugar industry makes it possible to return thousands of hectares of land occupied by landfills for use in agriculture.

Keywords: soil, ameliorant, sugar production, defecate, wastewater, peat, humates, ultrasound, cavitation, yield

Format of citation: Benin D.M., Mochunova N.A., Shirokov Yu.A. Technology of the production of soil ameliorant and assessment of the effectiveness of its application // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 43-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-43-48>

Введение. В соответствии с Федеральным законом от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. от 8 августа 2024 г.) поставлена задача минимизации загрязнения окружающей среды отходами производства и максимальной утилизации образующихся отходов. Эта проблема касается и сахарных заводов РФ, и предприятий сельского хозяйства [1]. Расширение производства сахара привело не только к увеличению посевных площадей сахарной свеклы, но и к резкому росту объемов дефекационной грязи (дефеката) на производственных площадках сахарных заводов [2, 3]. Например, только в условиях Курской области на территориях сахарных заводов накопилось более 400 тыс. т дефеката, а в целом по стране на 74 сахарных заводах объем отхода-дефеката составил около 2,5 млн т [4]. Естественно, что назрела проблема использования этих запасов.

Все виды отходов сахарного производства в совокупности аккумулируют массу макро- и микроэлементов, вынесенных с площадей выращивания сахарной свеклы: около 1,1 млн га, а с учетом свекловичного севооборота – почти 6 млн га. Это является серьезной проблемой для будущего земледелия на данных площадях, так как почвообразующие породы региона и без того содержат очень мало подвижных соединений микроэлементов [5, 6]. В растворимое состояние переходит не более 23% Си, 14% Со, 10% Мп и Мо, 1-6% В, Zn и I, что обусловлено концентрированием микроэлементов в минералах, устойчивых к выветриванию, а также карбонатностью, ограничивающей их подвижность [7].

Кроме того, на площади свекловичного севооборота в дополнение к отходам сахарного производства образуется огромное количество (более 18 млн т) целлюлозосодержащей нетоварной части растений (солома и пожнивные остатки зерновых и других культур), накопившей так же,

как и корнеплоды сахарной свеклы, массу вынесенных из почвы макро- и микроэлементов [8, 9].

Большая часть нетоварной части растений свекловичного севооборота не утилизируется должным образом и безвозвратно теряется по причине малоэффективных и экологически опасных способов их утилизации: сжигания в рядках, копнах или складирования на краях полей в скирды, которые в итоге сжигаются [1, 10].

Перечисленные проблемы могут быть решены совмещением отходов сахарного производства (дефеката и др.) и нетоварной части растений свекловичного севооборота (соломы и др.).

Кроме того, использование побочных продуктов и многотоннажных отходов сахарной промышленности позволяет возратить для использования в земледелии тысячи гектаров земель, занятых отвалами, что позволит заметно повысить экономические показатели растениеводства [11].

Цель исследований: разработать на основе физических методов технологию комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нетоварной части растений свекловичного севооборота, состав мелиоранта почвы и проверить эффективность выращивания сахарной свеклы при внесении полученного мелиоранта в почву в полевом опыте.

Материалы и методы исследований. Для решения проблемы комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нетоварной части растений свекловичного севооборота был сформирован состав мелиоранта.

В состав мелиоранта вводили 30%-ный «отработанный» карбонат кальция с органическими и неорганическими примесями (дефекат), образованный в производственном процессе сахарного завода «Заинский сахар» Республики Татарстан. Состав дефеката при влажности 27% содержал: 64% извести; 12% органических

веществ; 0,7% азота; 0,9% фосфора (в виде P_2O_5); 0,4% калия (в виде K_2O) и незначительное количество магния, серы и микроэлементов; 40%-ный водный раствор (сточные воды) макро- и микроэлементов (калий, фосфор, кальций, натрий и др.) и органических примесей.

30% состава – сточные воды, сформированные из транспортерно-мочных вод, ловушечных, свекломочных, элеваторных, которые образованы в период подготовки и переработки сахарной свеклы также сахарного завода «Заинский сахар». В составе последних – ботва и солома, очистки, мезга, корни и частицы корнеплодов, кусочки грунта и растворенные почвенные соединения. Вследствие этого химический состав транспортерно-мочных вод, ловушечных, свекломочных, элеваторных сточных вод является нестабильным. Нами использованы материалы исследования Н.В. Михальчука и М.М. Дашкевича по среднему химическому составу транспортерно-мочных вод, ловушечных, свекломочных, элеваторных сточных вод, мг/л: медь – 20,8; марганец – 107,67; цинк – 38,87; железо – 2479,15; кобальт – 0,69; хром – 5,29.

К этому добавляли 8-12% низинного торфа. Торф брали из торфяников в Заинском районе Татарстана на расстоянии 2 км от села Шикмамаево. Состав торфа: углерод – 52,7%; водород – 4,7%; азот – 0,7; сера – 1,23%; кислород – 40,67%. Органический состав добытого торфа: битумы – 2,9%; водорастворимые и легкогидролизующие углеводы – 27,8%; гуминовые кислоты – 35,5%; фульвокислоты – 7,9%; целлюлоза – 9%; лигнин – 16,9%. В торфе также содержались оксиды: оксид кремния (SiO_2), оксид железа (FeO_2), оксид алюминия (Al_2O_3), оксид кальция (CaO), оксид фосфора (P_2O_5).

В состав мелиоранта также входила биомасса нетоварной части урожая культур свекловичного севооборота (солома) с влажностью 14-17% из расчета обеспечения влажности конечного продукта на уровне 45-50%. Солому завозили с полей крестьянского хозяйства.

Химический состав компонентов и готового мелиоранта определен в лаборатории кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ и в Испытательном центре почвенно-экологических исследований РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Блок-схема технологического процесса представлена на рисунке.

Технологический процесс. Торф завозили самосвальным автотранспортом. Прием биомассы торфа производили из автотранспорта на открытую накопительную площадку (под навесом), а оттуда фронтальным погрузчиком загружали

в приемный бункер с дозатором. Дозатор подавал дозированное количество торфа (0,5 т) в сепаратор, где происходило отделение механических примесей, которые транспортером выводились в накопительный бункер и вывозились на поля в качестве самостоятельного мелиоранта почвы. Очищенный торф смешивали в емкости со сточными водами сахарного завода. Затем на полученную смесь воздействовали физическими методами активации, включающими в себя ультразвуковые колебания в диапазоне частот от 18 до 24 кГц с помощью ультразвукового кавитатора S-P20-3000 (5). Ультразвуковое воздействие в частотном диапазоне от 18 до 24 кГц обеспечивает равномерное смешивание компонентов. После этого на смесь воздействует сверхвысокое давление микровзрывов пузырьков воздуха, растворенного в сточных водах, при коэффициенте модуляции, равном 0,4-0,6 в гидродинамическом кавитаторе (6) серии УПЭС (6). При изменении коэффициента модуляции ниже 0,4 и выше 0,6 повышается энергоемкость процесса и снижается эффективность дробления и активизации гуминовых веществ торфа.

Необходимо контролировать режимы, чтобы температура смеси не достигала 70°C. Превышение отмеченного уровня температуры приведет к стерилизации смеси и снижению ее биологической эффективности.

Гидродинамическая кавитация приводит к дроблению органических компонентов смеси и мономеров гуминовых веществ торфа, что

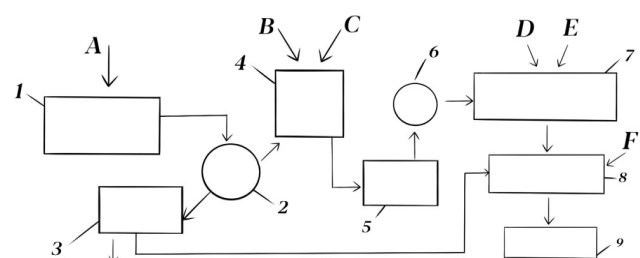


Рис. Блок-схема технологической линии для производства мелиоранта:

- 1 – приемный бункер-дозатор торфа;
- 2 – сепаратор; 3 – накопительный бункер отсева;
- 4 – емкость для приготовления водного раствора торфа;
- 5 – ультразвуковой кавитатор;
- 6 – гидродинамический кавитатор;
- 7 – бункер-смеситель; 8 – бункер-смеситель;
- 9 – накопитель-фасовщик готового продукта.

Вход материальных потоков:

- A – торф; B – сточные воды; C – сточная вода;
D – дефекат; E – микробиологические добавки, микроэлементы;
F – биомасса нетоварной части урожая культур свекловичного севооборота

повышает их биологическую активность. После этого в емкость (6) в смесь вводили дефекат, а затем в емкости (8) в полученную смесь вводили измельченную до 20-40 мм солому (биомассу нетоварной части урожая культур свекловичного севооборота) с влажностью 14-17% из расчета обеспечения влажности конечного продукта на уровне 45-50%. Солому брали с полей крестьянского хозяйства «Росток» Заинского района. Все компоненты перемешивали. На этом процесс приготовления мелиоранта почвы завершается. Состав одного из вариантов полученных мелиорантов почвы приведен в таблице 1.

Результаты и их обсуждение. Изучение эффективности применения приготовленного по разработанной технологии мелиоранта на основе дефеката сахарного производства проведено в технологии возделывания сахарной свеклы в Крестьянском хозяйстве «Росток» Заинского района Республики Татарстан. Опыт проводился на посевах гибрида сахарной свеклы ЛМС-94. Учет, наблюдение и оценка биологической и хозяйственной эффективности проводились в соответствии с методическими

рекомендациями ВИЗР. Математическая обработка урожайных данных проведена по Б.А. Доспехову.

Изучение эффективности применения приготовленного по разработанному способу мелиоранта на основе дефеката сахарного производства выполнено в технологии возделывания сахарной свеклы на посевах гибрида ЛМС-94.

Дата посева культур, норма высева семян, агротехника: гибрид сахарной свеклы был посеян с нормой 140 тыс. семян на 1 га 29 апреля.

Агротехника опытных участков. Почва опытного участка – типичный среднесиловой выщелоченный чернозем, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Содержание гумуса составляет 5,0%; P_2O_5 -25 мг; K_2O – 18 мг на 100 г сухой почвы; pH = 5,8; гидролитическая кислотность – 3,01 мг-экв. на 100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 42,4 мг-экв. на 100 г почвы.

Сахарная свекла на контрольном и опытном полях выращивалась на фоне минерального питания $N_{120}P_{120}K_{120}$ кг д.в. на 1 га. Посев сахарной свеклы производился с междурядьями 45 см сеялками ССТ-12В.

Таблица 1. Результаты исследований химического состава мелиоранта (Лаборатория кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ, Степанов А.А.)

Table 1. The results of studies of the chemical composition of the ameliorant (Laboratory of the department of soil chemistry of the faculty of soil science of MSU, Stepanov A.A.)

Показатель <i>Indicator</i>	Ед.изм <i>Units of measurement</i>	Значение <i>Value</i>
pH	-	7,35
W (Влажность) (<i>Humidity</i>)	%	50,95
Сухой остаток <i>Dry residue</i>	% г/л / g/l	49,05 490,5
Органические вещества, в т.ч.: Аминокислоты, мг/л (глицин-327, аланин-309, валин-285, Лейцин-195, изолейцин-164, пролин-135, Фенилаланиливая кислота- 140, глутаминовая кислота –388, цистин-29, Тирозин-35, метеонин-11, серин-103, аспаргиновая кислота-690, теонин-181, лизин-30, аргинин-169, гиститдин-72 и др.). Углеводы мг/л (пентозы-1896, метилпентозы-2627, гексозы-2377) <i>Organic substances, including:</i> <i>Amino acids, mg / l (glycine-327, alanine-309, valine-285, Leucine-195, isoleucine-164, proline-135, Phenylalanylic acid- 140, glutamic acid –388, cystine-29, Tyrosine-35, meteonin-11, serine-103, aspartic acid-690, theonin-181, lysine-30, arginine-169, histitidine-72, etc.).</i> <i>Carbohydrates mg / l (pentoses-1896, methylpentoses-2627, hexoses-2377)</i>	г/л g/l	860,3
Гуминовые кислоты / <i>Humic acids</i>	г/л / g/l	29,8
Фульвокислоты / <i>Fulvic acids</i>	г/л / g/l	8,6
Гумин (н.о) / <i>Gumin (insoluble residue.)</i>		47,4
Макроэлементы, мг/л / <i>Macronutrients, mg / l</i>		
N		634,9
P		98,0
K		3704,5
Микроэлементы, мг/кг от с.о. / <i>Trace elements, mg / kg from the dry residue:</i> Ni – 0,07; Co – 0,02; Sr – 0,01; Ba – 7,20; Zn – 67,96; Cu – 43,04; Mn – 67,20; Sn – 0,01; Mo – 0,83		

Делянки сахарной свеклы размещались в 4-кратной повторности.

Уборка урожая сахарной свеклы произведена 19 сентября. Учет урожайности сахарной свеклы выполняли вручную. На всей площади учетной делянки площадью 25 м² выкапывались растения сахарной свеклы с последующей обрезкой ботвы и взвешиванием корнеплодов. Результаты полевого опыта приведены в таблице 2.

Таким образом, проведенный в полевых условиях тест показал, что вследствие улучшения агрохимических свойств почвы, в результате

применения разработанного состава и технологии производства мелиоранта достоверно повысилась урожайность сахарной свеклы. Прибавка урожайности корнеплодов сахарной свеклы составила 3,5 т/га, что свидетельствует о достоверном увеличении урожая, так как НСР₀₅ для данного опыта – 2,5 т/га. Сахаристость возросла с 15,5 до 15,66%. Одним из самых главных показателей продуктивности культуры является сбор сахара. В опыте сбор сахара составил 8,41 т/га, в то время как на контрольном варианте – 7,56 т/га (увеличение – на 11,2%).

Таблица 2. Продуктивность посевов сахарной свёклы

Table 2. Productivity of sugar beet

Вариант опыта <i>Experience option</i>	Урожайность, т/га <i>Yield, t / ha</i>	+/- к контролю <i>+/- to control</i>	Сахаристость, % <i>Sugar content, %</i>	Сбор сахара, т/га <i>Sugar collection, t / ha</i>
Контроль / <i>Control</i>	50,2	-	15,05	7,56
Внесение удобрительно-мелиорирующей смеси, 5 т/га <i>Application of fertilizer-reclamation mixture, 5 t / ha</i>	53,7	+3,5	15,66	8,41
НСР ₀₅ / <i>NSR₀₅</i>		2,5		

Выводы

Результатом работы явилось формирование состава мелиоранта почвы и создание на основе физических методов технологии комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нетоварной части растений свекловичного севооборота. Основным преимуществом предлагаемого способа производства мелиоранта почвы является то, что обеспечивается максимально возможный возврат вынесенных с урожаем питательных элементов обратно в почву.

Проверка работоспособности технологии и технологической линии показала возможность

их построения на базе стандартного оборудования российского производства. Испытания полученного по разработанной технологии продукта в полевых опытах при 4-кратной повторности показали достаточную эффективность внесения полученного мелиоранта при выращивании сахарной свеклы, так как сбор сахара увеличился на 11,2%. Кроме того, использование побочных продуктов и отходов сахарной промышленности позволяет вернуть для использования в земледелии тысячи гектаров земель, занятых отвалами.

Список использованных источников

1. Shirokov Y., Tikhnenko V. Analysis of environmental problems of crop production and ways to solve them // E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301025.
2. Barbara M Muir. Sugar Beet Processing to Sugars // In book: Sugar Beet Cultivation, Management and Processing. 2022. Pp. 837-862. DOI: 10.1007/978-981-19-2730-0_42.
3. Anbalagan Krishnaveni, Shivakumar Chinnasamy, Jamuna Elumalai and Pandiyan Mutagen. Waste from the sugar industry as a source of organic carbon for the soil // Shp books: environmental factors affecting human health. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90661.
4. Степанова Т.В. Лабораторные исследования по усовершенствованию технологии очищения отходов сахарной промышленности // Аллея Науки: Научно-практический электронный журнал. 2020. № 6 (45).

References

1. Shirokov Y., Tikhnenko V. Analysis of environmental problems of crop production and ways to solve them / Collection: E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301025
2. Barbara M Muir. Sugar Beet Processing to Sugars // In book: Sugar Beet Cultivation, Management and Processing. 2022. pp. 837-862). DOI: 10.1007/978-981-19-2730-0_42
3. Anbalagan Krishnaveni, Shivakumar Chinnasamy, Jamuna Elumalai and Pandiyan Mutagen // Waste from the sugar industry as a source of organic carbon for the soil // shp books: environmental factors affecting human health 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90661
4. Stepanova T.V. Laboratory studies on improving the technology of purification of sugar industry waste // Scientific and practical electronic journal "Alley of Science", 2020, № 6 (45).

5. **Корчагин В.И.** Микроэлементы в пахотных почвах Воронежской области // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева; Под общ. ред. Н.И. Бухтоярова, Н.М. Дерканосовой, В.А. Гулевского. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2016. С. 93-96.

6. Экологический мониторинг состояния почвенных ресурсов Воронежской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы сельскохозяйственного производства». Агроэкологический вестник. Вып. 9. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2020. С. 69-74.

7. **Дьякова Н.А.** Гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия КГТУ. 2020. С. 61-72. DOI: 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72.

8. Ahmad et all. Soil Application of Wheat Straw Vermicompost Enhances Morpho Physiological Attributes and Antioxidant Defense in Wheat Under Drought Stress // *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.894517>

9. Chakraborty Arunav, Borah Archita, Debangana Sharmah. Stabilization of Expansive Soil using Sugarcane Straw // *Journal of Engineering Technology*. 2016. Vol. 4 (1).

10. Tiza Michael, Sitesh Kumar Singhand Anand Kumar, Expansive soil stabilization using industrial solid wastes a review // *International journal of advanced technology in Engineering and science*. 2016. Vol. 4, Iss. 9.

11. M. Chittaranjan, M. Vijay and D. Keerthi "Agricultural wastes as soil stabilizers". *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. 2011, – Vol-04, – Issue No 06 SPesearch Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056

12. **Широков Ю.А.** Анализ возможностей по управлению себестоимостью продукции растениеводства // *Аграрная Россия*. 2020. № 2. С. 32-39. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-32-39.

Об авторах

Дмитрий Михайлович Бенин, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: ABG-6874-2020; Scopus AuthorID: 57216751281; ORCID: 0000-0003-1265-4071; d.benin@rgau-msha.ru

Наталья Александровна Мочунова, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AAE-5272-2022; Scopus AuthorID: 57321699300; ORCID: 0000-0002-9131-4472; mochunova@rgau-msha.ru

Юрий Александрович Широков, д-р техн. наук, профессор; WoS ResearcherID: AAE-5952-2022; Scopus AuthorID: 57218279205; ORCID: 0000-0001-5196-7447; shirokov001@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Бенин Д.М., Мочунова Н.А., Широков Ю.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 interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

5. **Korchagin V.I.** Microelements in arable soils of the Voronezh region / Modern problems of preserving the fertility of chernozems / Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 170th anniversary of V.V. Dokuchaev. Under the general editorship of Bukhtoyarov N.I., Derkanosova N.M., Gulevsky V.A. Voronezh: Voronezh State University named after Emperor Peter I. 2016. pp. 93-96.

6. Ecological monitoring of the state of soil resources of the Voronezh region // *Agroecological Bulletin / Materials of the international scientific and practical conference "Ecological problems of agricultural production"*. Issue 9. Voronezh: Voronezh State University named after Emperor Peter I, 2020, P. 69-74.

7. **Dyakova N.A.** Hygienic assessment of the soil condition of anthropogenic ecosystems of the Voronezh region // *Izvestiya KSTU*, 2020. P. 61-72. DOI: 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72.

8. Ahmad ey all. Soil Application of Wheat Straw Vermicompost Enhances Morpho Physiological Attributes and Antioxidant Defense in Wheat Under Drought Stress. *Frontiers in Environmental Science*. Volume 10-2022 | <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.894517>

9. Chakraborty Arunav, Borah Archita, Debangana Sharmah. Stabilization of Expansive Soil using Sugarcane Straw. *Journal of Engineering Technology*, – 2016, ISSN: 2348-7305, – Volume 4(1), AJET..

10. Tiza Michael, Sitesh Kumar Singhand Anand Kumar, Expansive soil stabilization using industrial solid wastes a review. *International journal of advanced technology in Engineering and science*, 2016, Vol. no. 4, Issue no. 9, ISSN2348-7550, IJATES.

11. M. Chittaranjan, M. Vijay and D. Keerthi "Agricultural wastes as soil stabilizers". *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. 2011, – Vol-04, – Issue No 06 SPesearch Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056

12. **Shirokov Yu.A.** Analysis of opportunities for managing the cost of crop production // *Agrarian Russia*. 2020. No. 2. P. 32-39. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-32-39.

Author information

Dmitry M. Benin, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: ABG-6874-2020; Scopus AuthorID: 57216751281; ORCID: 0000-0003-1265-4071; d.benin@rgau-msha.ru;

Natalya A. Mochunova, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: AAE-5272-2022; Scopus AuthorID: 57321699300; ORCID: 0000-0002-9131-4472; mochunova@rgau-msha.ru

Yury A. Shirokov, DSc (Eng), professor; WoS ResearcherID: AAE-5952-2022; Scopus AuthorID: 57218279205; ORCID: 0000-0001-5196-7447; shirokov001@mail.ru

Benin D.M., Mochunova N.A., Shirokov Yu.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/10.26897/1997-6011-2024-5-49-56>

УДК 631.43: 631.459:631.48:539.217.1



УЛУЧШЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ГЛУБОКИМ РЫХЛЕНИЕМ

Б.С. Мирзаев¹, В.И. Балабанов², А.А. Макаров²

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»; г. Ташкент, Республика Узбекистан

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

Аннотация. Цель исследований – оценка влияния глубокого рыхления усовершенствованным мелиоративным рыхлителем на изменение агрофизических свойств тяжелых почв. В работе представлены результаты исследований влияния усовершенствованной конструкции рабочего органа мелиоративного рыхлителя на главные агрофизические показатели почвы, в том числе на почвенную структуру, плотность, влажность, пористость, а также другие технологические и энергетические характеристики процесса рыхления. Рассмотрены результаты полевых исследований процесса рыхления и его эффективности на необработанных почвах естественного сложения. Установлено, что для эффективного регулирования физико-механических показателей свойств почв в зависимости от потребности растений и разработки технологии их выращивания требуется знание параметров и оптимальных значений указанных агрофизических свойств. Определено, что в результате глубокого объемного рыхления переуплотненных глеевых почв рабочим органом разработанной конструкции, на которую получен ряд патентов на изобретения, образуется однородная структура почвы, уменьшается плотность почвы до 1,2...1,3 г/см³, увеличивается пористость до 50% по глубине обрабатываемого профиля. Это способствует повышению водовместимости и запасов продуктивной влаги. Результаты экспериментов позволили оценить степень улучшения агрофизических свойств почв в результате глубокого рыхления.

Ключевые слова: агрофизические свойства почвы, глубокое рыхление почвы, объемный мелиоративный рыхлитель, плотность сложения почвы, пористость, влажность, влагоемкость, почвенная структура

Формат цитирования: Мирзаев Б.С., Балабанов В.И., Макаров А.А. Улучшение агрофизических свойств почв глубоким рыхлением // Природообустройство. 2024. № 5. С. 49-56. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-49-56>

Original article

IMPROVEMENT OF AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SOILS BY DEEP LOOSENING

B.S. Mirzaev¹, V.I. Balabanov², A.A. Makarov²

¹National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Republic of Uzbekistan

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

Abstract. The aim of the research is to assess the effect of deep loosening with an improved reclamation ripper on changes in the agrophysical properties of heavy soils. The paper presents the results of studies of the effect of the improved design of the working body of the reclamation ripper on the main agrophysical indicators of the soil, including soil structure, density, humidity, porosity, as well as other technological and energy characteristics of the loosening process. The results of field studies of the loosening process and its efficiency on uncultivated soils of natural composition are considered. It has been established that for the effective regulation of physical and mechanical indicators of soil properties depending on the needs of plants and the development of technology for their cultivation, knowledge of the parameters and optimal values of these agrophysical properties is required. It has been determined that as a result of deep volumetric loosening of over-compacted gley soils with a working body of the developed design, for which a number of patents for inventions have been obtained, a homogeneous soil structure is formed, the soil density decreases to 1.2... 1.3 g/cm³, the porosity increases to 50%

along the depth of the treated profile, which contributes to an increase in water capacity and productive moisture reserves; the results of the experiments made it possible to assess the degree of improvement in the agrophysical properties of soils as a result of deep loosening.

Keywords: agrophysical properties of soil, deep loosening of soil, volumetric reclamation ripper, density of soil composition, porosity, moisture, moisture capacity, soil structure

Format of citation: Mirzaev B.S., Balabanov V.I., Makarov A.A. Improvement of agrophysical properties of soils by deep loosening // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 49-56. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-49-56>

Введение. Наиболее быстрым и эффективным способом формирования почвенной структуры является глубокая обработка почвы, приемы которой повышают общую пористость, увеличивая в основном объем некапиллярных пор, что в свою очередь улучшает водно-воздушные свойства и усиливает микробиологическую активность почвы. При этом вместе с образованием почвенных отдельностей происходит их разрушение, в результате изменения соотношения между твердой фазой и пораами изменяется весь механизм передвижения расхода воды в почве, происходит резкое изменение условий накопления и разложения растительных остатков, характера воздухообмена, накопления гумуса, химизма минеральной части и др. Также совместно с обработкой применяют приемы регулирования водного, воздушного и теплового режимов включая мелиоративные мероприятия [1, 2].

Известно положительное влияние глубокого рыхления пахотного и подпахотных слоев (мощностью 0,4...0,8 м) на структуру, а следовательно, на водно-воздушный, тепловой и питательный режимы почвы, и в итоге – на плодородие. Глубокое рыхление почв тяжелого механического состава как агро-мелиоративное мероприятие является эффективным для снижения плотности повышения урожайности сельскохозяйственных культур, улучшения дренажного стока и водно-воздушного режима почв, что подтверждено испытаниями опытных образцов рыхлителей данного типа [1, 2].

Для мелиоративного рыхления применяется большое количество рыхлителей, которые в зависимости от способа использования мощности могут иметь рабочие органы пассивного, активного или комбинированного действия, но наиболее широкое распространение получили рыхлители с пассивными рабочими органами. Из большого разнообразия данного оборудования потребительским свойствам и агро-мелиоративным требованиям для рыхлителей данного типа в полной мере отвечают образцы рыхлителей пассивного действия, стойки которых выполнены в виде наклонных режущих элементов, соединенных в нижней части лемехом, образуя V-образный контур.

С целью объемного рыхления во ВНИИ-ГИМ имени А.Н. Костякова было изготовлено и испытано в полевых условиях несколько модификаций V-образных рыхлителей типа РГ-0,5; РГ-0,8; РГ-1,2 как навесного оборудования к тракторам. Как показали исследования, рабочий орган V-образного рыхлителя типа РГ-0,8 в наибольшей степени отвечает агро-мелиоративным и конструкционным требованиям (свойствам). Однако, как показал анализ исследований, недостаточно изучено влияние его параметров и конструкции на качество рыхления, агрофизические свойства почвы и затраты энергии. исследований его использования в практических целях, а именно для проектирования и совершенствования рыхлителей данного типа, в настоящее время недостаточно [1-2].

Цель исследований: оценка влияния глубокого рыхления усовершенствованным мелиоративным рыхлителем на изменение агрофизических свойств тяжелых почв.

Методы и материалы исследований. Лабораторные исследования проводились на грунтовом канале в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, оборудованном измерительным стендом, запись усилия осуществлялась тензометрическим способом. Ранее были проведены лабораторные испытания различных моделей рабочих органов известных объемных мелиоративных рыхлителей в целях совершенствования конструкции для создания равномерной структуры почвы по обрабатываемому профилю и оптимальной энергоэффективности процесса рыхления [3, 4]. На основании литературно-патентного анализа и ряда исследований были разработаны и запатентованы новые конструкции рабочих органов мелиоративных рыхлителей, имеющих криволинейные боковые стойки. Их исследования в лабораторных и полевых условиях дали положительные результаты [5-7]. С целью получения реального состояния грунта и поверхности выбывших из сельхозоборота полей были проведены обследования некоторых полей в Тверской и Московской областях. Данные территории заросли сорной, древесно-кустарниковой растительностью и мелколесьем, на тот момент в возрасте

от 3 до 5 лет. Была проведена оценка состояния поверхности и агрофизических свойств полей.

Сравнительные эксперименты нескольких наиболее перспективных конструкций рабочих органов рыхлителей объемного типа позволили достаточно объективно оценить основные эксплуатационно-технологические свойства каждого, выявить их достоинства и недостатки и принять решение о направлении совершенствования конструкции. Испытания уменьшенных моделей рабочих органов объемных рыхлителей, разработанных и изготовленных А.А. Макаровым, представлены на рисунке 1 [7, 8].

На основании проведенных лабораторных исследований моделей рабочих органов рыхлителей и с учетом анализа данных ранее полученных результатов была сконструирована опытная установка для проведения полевых экспериментов на грунтах естественного сложения [9, 10]. Проектирование опытной установки осуществлялось

с учетом параметров и конструкции рабочего органа, условий проведения экспериментов, обеспечения работоспособности установки в рабочем и транспортном положении, достаточной прочности конструкции, простоты сборки-разборки рамы и монтажа рабочего оборудования.

Рабочий орган мелиоративного объемного рыхлителя является сварной конструкцией, включающей в себя верхнюю раму и рыхлящий периметр, в нижней части которой установлен рыхлящий элемент, имеющий форму широкого зуба (рис. 2). Боковые стойки для рыхления почвы выполнены в виде сегмента параболы, включающей в себя 3 полосы криволинейной формы: передняя режущая часть, торцевая соединительная часть и часть, образующая задний угол.

Боковые стойки разработанного рыхлителя в верхней части прикреплены к раме и развернуты таким образом, что передняя кромка имеет входной контур, больший, чем выходной,



Рис. 1. Модели объемного мелиоративного рыхлителя (слева).
Фрагменты проведения лабораторных исследований на грунтовом канале (справа)
Fig. 1. Models of a volumetric reclamation ripper (left). Fragments of laboratory research
on a soil channel (right)



Рис. 2. Рабочий орган с параболическими стойками опытного образца
мелиоративного рыхлителя
Fig. 2. Working body with parabolic racks of the experimental reclamation ripper

образуемый задними кромками. Эти особенности конструкции позволяют осуществлять резание, отделяя грунт от массива. Далее, проходя между боковыми стойками, грунт испытывает дополнительную деформацию и сжатие за счет разности площадей входного и выходного сечений.

На основе проведенных исследований были приняты такие значения параметров рабочего органа рыхлителя: угол резания зуба рыхлителя = 35°; угол наклона стоек = 90°; угол резания стоек = 18°. Боковые рыхлящие стойки выполнены в форме параболы типа $Y = 0,001 \cdot X^{2,2}$.

Опытная установка представляла собой прицепной агрегат к трактору МТЗ-1523 (общий вид представлен на рисунке 3). Установка рабочего органа на заданную глубину осуществляется при помощи ручной лебедки. Для исключения отрыва опорных колес в процессе рыхления

от действия усилия сопротивления на рабочем органе предусмотрено место для установки противовеса. На кронштейнах по краям рамы установлены подшипниковые узлы со свободно вращающимися пневматическими колесами.

При проведении полевых исследований отобраны участки полей длиной 10 м и шириной 1,5 м, где был предварительно удален дерновый слой почвы толщиной около 0,15...0,2 м, а затем сформирован приямок для возможного заглубления исследуемого рабочего органа.

Рыхление опытных участков полей по полосам проводилось в Московской и Тверской областях (рис. 4 а).

При проведении исследований выполнялись поперечные разрезы участка рыхления и осуществлялся забор почвенных проб на разной глубине до рыхления и после него с интервалом

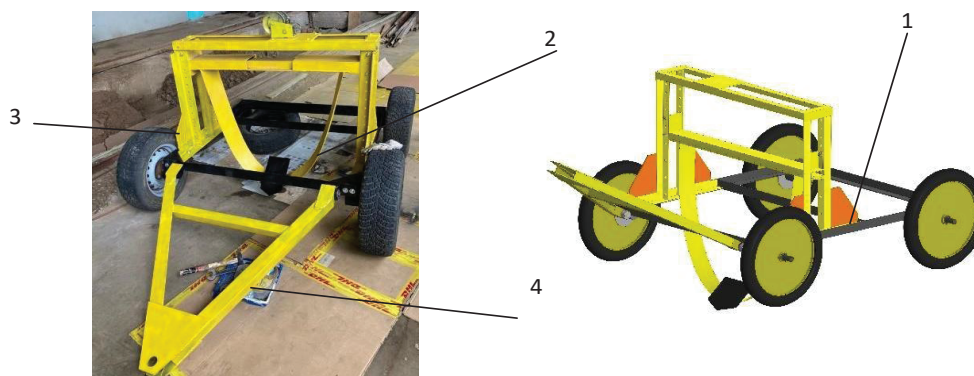


Рис. 3. Опытная установка:

1 – рама; 2 – объемный рыхлитель; 3 – боковые направляющие для изменения глубины и крепления рыхлителя; 4 – дышло для сцепки с трактором

Fig. 3. Pilot installation:

1 – frame; 2 – volumetric ripper; 3 – side guides for changing the depth and fastening of the ripper; 4 – drawbar for coupling to the tractor



а)

б)

Рис. 4. Порядок проведения полевых исследований:

а) порядок выполнения опыта; б) пробы грунта до рыхления и после него

Fig. 4. Procedure for conducting field research:

a) procedure for performing the experiment; b) soil samples before and after loosening

10 см с последующим определением их основных агрофизических свойств (рис. 5 б). Была произведена оценка таких агрофизических свойств почв, как плотность, пористость, влажность и водоудерживающая способность, гранулометрический состав по глубине обработки до опытного рыхления и после него.

Результаты и их обсуждение. Обследование выбывших из сельскохозяйственного оборота полей в Тверской и Московской областях показало, что они имеют сильно деформированный рельеф понижения (от 10 до 40 см), а также сильно переуплотнены: плотность от поверхности до глубины 80 см составляла от 1,43 до 1,94 г/см³ с коэффициентом фильтрации менее 0,1...0,3 м/сутки [1, 11, 12].

На выбранных опытных участках необрабатываемых полей были сделаны и проанализированы почвенно-геологические разрезы от поверхности до глубины 0,6...0,8 м, показавшие следующие результаты. Верхний дерновый слой глубиной до 10 см состоит из плотного переплетения остатков растительности и многолетней корневой системы. Дерновый слой до глубины 20 см имеет серо-коричневый цвет и насыщен корневыми системами растений. Подзолистый горизонт, находящийся на глубине 20...30 см, имеет бежево-белый оттенок и содержит уплотненные прослойки плужной подошвы. На глубине 30...40 см залегает плотная структура буро-ржавого цвета иллювиального слоя. Следующий горизонт тяжелого суглинка до глубины 80 см характеризуется

низкой водопроницаемостью и представляет собой иллювиальный слой буровато-серого и медного цвета. При работе рыхлителя слой крошится на крупные фракции, но при этом не формируются агрегаты с большими агрономическими размерами. Водно-физические свойства почв опытных участков приведены на рисунке 5.

Установлено, что пористость почвы варьируется в значительных пределах по глубине слоя, доходя до значений от 17 до 49,8% от суммарного объема. Полная влагоемкость (ПВ) почвы колеблется в зависимости от глубины от 35 до 42%, а наименьшая влагоемкость (НВ) находится в пределах 19,4...38,8% от объема. Гранулометрический почвенный состав в процентном содержании почвенных частиц представлен в таблице 1.

Анализ характеристик тяжелых почв с выбранных участков показывает, что при измеренной плотности общая пористость имеет неудовлетворительные значения по всей глубине (по агротехническим требованиям она должна составлять более 50%), что требует проведения мероприятий по структурированию почвы. Плотность обследованных участков в естественном состоянии характеризуется плотным сложением почвенных элементов. Для некоторых почв в структуре сохранены отдельные трещины и проходы влаги. Сравнение агрегатного состава по глубине показывает, что нижележащие слои, по агрономической оценке, требуют структурированности применением глубокого рыхления.

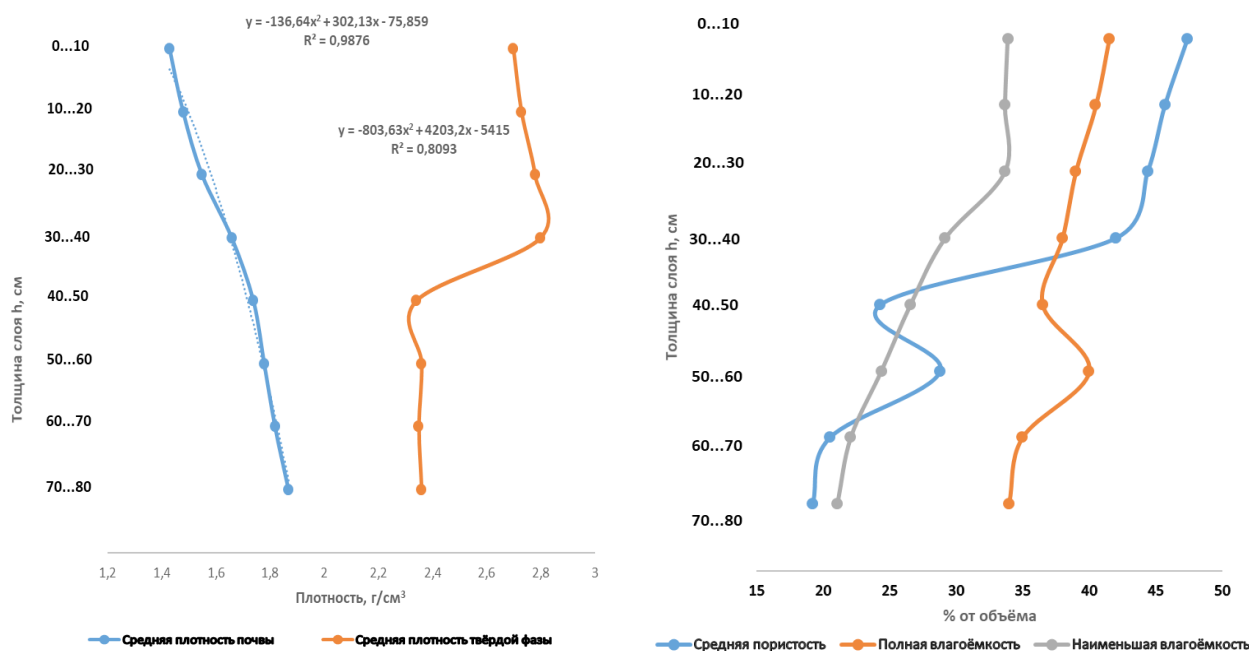


Рис. 5. Водно-физические свойства необрабатываемых почв

Fig. 5. Water-physical properties of uncultivated soils

Таблица 1. Гранулометрический состав почвы полевых участков

Table 1. Granulometric composition of the soil of field plots

Опытные участки <i>Experimental plots</i>		Московская область <i>The Moscow area</i>		Тверская область <i>The Tver area</i>	
		Участок 1 <i>Plot 1</i>	Участок 2 <i>Plot 2</i>	Участок 3 <i>Plot 3</i>	Участок 4 <i>Plot 4</i>
Размер частиц (мм) и их содержание (%) <i>Particle size (mm) and particle content (%)</i>	менее 0,001 / <i>less 0,001</i>	8,4	12,8	10,6	9,1
	0,001...0,005	7,9	4,8	5,6	8,3
	0,005...0,01	9,8	6,3	6,6	6,4
	0,01...0,05	18,6	19,6	22,6	21,4
	0,05...0,25	41,1	38,1	37,4	38,7
	0,25...1,00	19,9	18,4	17,2	16,1
	Сумма частиц более 0,01 <i>Amount of particles more than 0.01</i>	79,6	76,1	77,2	76,2
	Сумма частиц менее 0,01 <i>Amount of particles less than 0.01</i>	20,4	23,9	22,8	23,8

Анализ результатов исследований показал, что применение предлагаемой конструкции объемного рыхлителя позволяет улучшить агрегатный состав и структуру почвы по глубине обрабатываемого профиля. При повышении влажности почвы изменяется соотношение почвенных отдельностей: повышается число почвенных агрегатов повышенных размеров. При влажности 8...13% содержание агрегатов величиной до 50 мм составляет 62%, а размером от 48 до 132 мм – 37%. При этом с повышением влажности до 18% содержание мелких агрегатов уменьшается до 41%, а крупных – повышается до 62,3% (табл. 2). При росте влажности до 22% отмечается значительное увеличение числа больших агрегатов (до 69%), а количество мелких агрегатов снижается до 31,3%. В результате статистической обработки получен наиболее оптимальный диапазон влажности, при котором образуется наибольшее количество агрегатов, отвечающих агротехническим требованиям.

При глубоком рыхлении рабочим органом объемного рыхлителя происходит отделение и перемещение почвенного пласта. При этом верхний

гумусный слой частично смешивается с нижними слоями, образуется достаточно однородный по слоям агрегатный состав, формируя оптимальную структуру почвы.

За счет повышения межагрегатной почвенной пористости и увеличения общей скважности наблюдается оптимизация влажности плодородного корнеобитаемого слоя, пористость увеличивается по глубине до 60%, что способствует скорости перетока и перераспределения объемов вод (табл. 3). Изменение плотности почвы по глубине до рыхления приведено на рисунке 5.

Наилучшие технологические показатели качества выполняемых работ при наименьшей энергоёмкости наблюдаются в периоды так называемой физической спелости почвы, при которой происходит лучшее крошение агрегатов при минимальном сопротивлении выполняемой механической обработки.

Установлено, что диапазон относительной влажности физически спелых среднесуглинистых почв лежит в пределах 12...21%. В то же время нами установлено, что оптимальное качество обработки таких почв осуществляется

Таблица 2. Характеристика структурного состояния почвы Московской области в результате рыхления с изменением влажности

Table 2. Characteristics of the structural state of the soil of the Moscow region as a result of loosening with changes in moisture

Влажность почвы, % от объёма <i>Soil moisture, % of volume</i>	Массовая доля образцов почвы по фракциям, % / <i>Mass share of the soil samples by fractions, %</i>						
	Фракция, мм / <i>Fraction, mm</i>						
	1...12	12...36	36...50	50...84	84...96	96...120	Более 120
8	10,3	54,6	24,4	9,6	1,1	-	-
10	3,1	42,2	36,2	12,1	6,2	-	0,5
13	1,9	34,5	27,7	22,8	2,9	8,9	1,3
16	2,4	20,9	36,8	27,2	13,7	6,4	8,2
18	2,4	18,8	34,6	25,2	9,8	6,1	3,1
22	0,3	15,6	24	22,4	9,6	17,9	10,2

Таблица 3. Свойства почвы (средний суглинок) после рыхления
Table 3. Soil properties (medium loam) after loosening

Слой почвы, см Soil layer, cm	Средняя плотность Average density			Пористость Porosity			Полная влагоёмкость, Complete moisture capacity		Наименьшая влагоёмкость The lowest moisture content of the soil	
	г/см ³ / g / cm ³		% от ср. пл. % of average density	%		% от ср. пористости % of the increase from the average porosity	% от объёма % from the volume	% от среднего значения % from the average value	% от объёма % from the volume	% повышения от средней величины % of the increase from the average value
	до рыхл. before loosening	после рыхл. after loosening		до рыхл. before loosening	после рыхл. after loosening					
0...20	1,45	1,305	10,1	46,55	51,92	10,3	44,7	9,1	34,4	1,65
20...40	1,6	1,365	14,8	43,2	50,75	14,9	43,15	11,75	32,1	2,1
40...60	1,75	1,345	23,4	26,55	50,05	47	41,75	9,1	25,95	1,8
60...80	1,85	1,35	27	19,85	50,6	60	33,5	4,75	21,65	1

при влажности 13...17% (50...65% ПВ) и сравнительно меньших показателях тяговых усилий. Предлагаемая конструкция рабочего органа объемного рыхлителя может быть применена во время выполнения операций, проводимых при освоении и рекультивации земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота. Также предлагаемая конструкция рабочего органа в условиях развития сельскохозяйственного производства должна обеспечить повышение его эффективности. Глубокое рыхление можно применять и на почвах, богатых гумусом, для увеличения мощности пахотного слоя и уменьшения плотности сложения нижележащих слоев, а также на солончаковых почвах для разрушения пласта солончака и обессоливания почвы с целью ускорения биохимических процессов.

Список использованных источников

1. Шевченко В.А., Кирейчева Л.В., Новиков С.А. и др. Научное обоснование и практическая реализация вовлечения в оборот залежных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и восстановления их плодородия: Монография. М.: Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2024. 490 с.
2. Дубенок Н.Н., Семененко С.Я., Абезин В.Г., Семененко А.С. Разработка и обоснование конструкции мелиоративного глубокорыхлителя-удобрителя // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 3. С. 53-57.
3. Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Влияние параметров мелиоративного рыхлителя на рабочий процесс // Природообустройство. 2013. № 2. С. 97-101.
4. Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Экспериментальные исследования моделей рабочих органов глубокорыхлителей с различной конструкцией боковых стоек // Природообустройство. 2013. № 3. С. 81-85.
5. Балабанов В.И., Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. и др. Обоснование конструкции рабочего органа рыхлителя объемного типа для улучшения агрофизических свойств почвы // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 2. С. 23-27.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что разработанные рыхлители соответствуют агротехническим требованиям по обработке почвы до глубины 0,8...1,2 м, создавая необходимое качество рыхления при снижении энергетических затрат.
2. Проведение глубокого рыхления способствует изменению и улучшению агрофизических свойств почв. Плотность почвы уменьшается до 28,8%, пористость повышается до 43,4%, увеличивается водовместимость на 8,3...12,5%.
3. Результаты полевых опытов показали, что рыхление необходимо проводить при состоянии почвы в условиях физической спелости и влажности: например, для почв среднесуглинистых – до 15%, а для почв глинистых – до 17%.

References

1. Scientific substantiation and practical realization of the involvement of fallow lands of the non-black earth zone of the Russian Federation and restoration of their fertility: a monograph / V.A. Shevchenko, L.V. Kireicheva, S.A. Novikov [et al.]. Moscow: Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov. 2024. 490 p.
2. Dubenok N.N. Development and justification of the design of ameliorative deep loosener-fertilizer / N.N. Dubenok, S.Y. Semenenko, V.G. Abezin, A.S. Semenenko // Russian Agricultural Science. 2018. № 3. P. 53-57.
3. Leontiev Yu.P. Influence of the reclamation ripper parameters on the working process / Yu.P. Leontiev, A.A. Makarov // Prirodoobustrojstvo. 2013. № 2. P. 97-101.
4. Leontiev Yu.P. Experimental studies of subsoiler working body models with different designs of side racks / Yu.P. Leontiev, A.A. Makarov // Prirodoobustrojstvo. 2013. № 3. P. 81-85.
5. Balabanov V.I. Justification of the design of the working body of the volumetric type ripper for improving the agrophysical properties of soil / V.I. Balabanov, Y.P. Leontiev, A.A. Makarov [et al.] // Land Reclamation and Water Management. 2023. № 2. P. 23-27.

6. Балабанов В.И., Макаров А.А., Дулясова М.В. Исследование влияния конфигурации рабочих элементов рыхлителя на показатели рабочего процесса // Техника и оборудование для села. 2024. № 6 (324). С. 12-16.

7. Макаров А.А. Улучшение агрофизических свойств почв применением мелиоративного рыхлителя объемного типа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 18 с.

8. Балабанов В.И., Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Оценка неравномерности глубины рыхления мелиорируемых земель рабочим органом мелиоративного рыхлителя // Агроинженерия. 2021. № 6 (106). С. 20-25.

9. Макаров А.А., Леонтьев Ю.П. Оценка физико-механических свойств грунта по глубине обработки объемным рыхлителем // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Черноземной зоны Российской Федерации: Материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 24-25 октября 2018 г. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2019. С. 225-229.

10. Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Влияние физических свойств грунта на величину сопротивления рыхлению // Доклады ТСХА. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. С. 118-121.

11. Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Оценка состояния поверхности и плотности грунта необрабатываемого поля // Природообустройство. 2009. № 4. С. 89-95.

12. Мирзаев Б.С., Балабанов В.И., Манохина А.А. и др. Механизация, автоматизация и цифровизация растениеводства (термины и определения): Учебное пособие / Б.С. Мирзаев, В.И. Балабанов, А.А. Манохина, И.Ж. Худаев, М.Н. Ахилбеков. Саратов, 2023. 248 с.

Об авторах

Бахадир Суюнович Мирзаев, д-р техн. наук, профессор, ректор НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»; Scopus author ID: 57209301922; bahadir.s.mirzaev@gmail.com

Виктор Иванович Балабанов, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ; Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017; vbalabanov@rgau-msha.ru

Александр Алексеевич Макаров, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ; Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017.

Критерии авторства / Criteria of authorship

Мирзаев Б.С., Балабанов В.И., Макаров А.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 interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.09.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.10.2024

6. Balabanov V.I. Investigation of the influence of the configuration of the ripper working elements on the working process indicators / V.I. Balabanov, A.A. Makarov, M.V. Dulyasova // Technics and equipment for rural areas. 2024. № 6(324). P. 12-16.

7. Makarov A.A. Improvement of agrophysical properties of soils by application of the ameliorative ripper of the volumetric type: abstract of dis ... candidate of technical sciences / Makarov Alexander Alexeevich. – Moscow, 2023. 18 p.

8. Balabanov V.I. Estimation of the unevenness of the ripping depth of reclaimed land by the working body of the reclamation ripper / V.I. Balabanov Yu.P. Leontiev, A.A. Makarov // Agroengineering. 2021. № 6(106). – P. 20-25.

9. Makarov A.A. Estimation of physical and mechanical properties of the soil by the depth of treatment with a volumetric ripper / A.A. Makarov, Y.P. Leontiev // Land reclamation – an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation: proceedings of the international scientific and practical conference, Moscow, October 24-25, 2018. Moscow: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2019. P. 225-229.

10. Leontiev Y.P. Influence of physical properties of the soil on the value of resistance to loosening / Y.P. Leontiev, A.A. Makarov // Reports of the TCAA, Moscow, December 06-08, 2018. M.: Russian State Academy of Agriculture named after C.A. Timiryazev, 2019. P. 118-121.

11. Leontiev Yu.P. Estimation of the surface condition and soil density of an untreated field / Yu.P. Leontiev, A.A. Makarov // Prirodoobuestrojstvo. 2009. № 4. P. 89-95.

12. Mirzaev B.S., / Mechanization, automation and digitalization of crop production (terms and definitions) / Balabanov V.I., Manokhina A.A., Khudaev I.J., Akhilbekov M.N.: study guide Saratov: 2023. 248 p.

Author information

Bakhadir S. Mirzaev, DSc (Tech), Professor, Rector of the National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Scopus author ID: 57209301922; bahadir.s.mirzaev@gmail.com

Victor I. Balabanov, DSc (tech), Professor, Head of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Construction Works; spin code: 1885-6817, Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017.

Alexander A. Makarov, CSc (Tech), senior lecturer of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Construction Works, spin code: 4191-3391, AuthorID: 1100904, Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017.

Mirzaev B.S., Balabanov V.I., Makarov A.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/10.26897/1997-6011-2024-5-57-64>

УДК 631.344.8:631.544.41



МЕТОД И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ГАЗОЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ КУЛЬТИВАЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ПОДОГРЕВОМ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

М.В. Павлов[✉], Д.Ф. Карпов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вологодский государственный университет»; 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, Россия

Аннотация. Разработка новых технологий поддержания требуемого микроклимата в культивационных сооружениях предполагает наличие соответствующей математической базы для определения расчетной тепловой мощности отопительного оборудования и параметров работы системы отопления, зависящих от факторов окружающей среды. Цель исследований – разработать программный метод расчета системы газолучистого отопления культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха. В основе метода расчета лежит система взаимосвязанных уравнений теплового баланса помещения, его ограждения и поверхности почвы. Решение, помимо прочего, включает в себя утилизацию теплоты от продуктов сгорания газообразного топлива, а также лучистый теплообмен с многократным отражением и самооблучением, происходящий между поверхностями почвы и ограждения. В программном методе расчета также учитывается влияние испарения влаги с поверхности почвы на теплообменные процессы, протекающие в культивационном сооружении. На основе разработанного программного метода расчета определены параметры работы системы газолучистого отопления культивационного сооружения на примере промышленной теплицы «Фермер 7.5» (Российская Федерация). При заданных исходных условиях получены следующие основные результаты расчета: требуемая тепловая мощность газового инфракрасного излучателя (68,7 кВт); расход тепловой энергии, необходимый на нагрев приточного воздуха перед его подачей в помещение (35,5 кВт); температура предварительно нагретого приточного воздуха ($-11,6^{\circ}\text{C}$); температура внутренней поверхности ограждения ($18,6^{\circ}\text{C}$). Указаны основные допущения, принятые при разработке метода расчета. Определены перспективы дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: газолучистое отопление, культивационное сооружение, газовый инфракрасный излучатель, газовый воздухонагреватель, почва, промышленная теплица

Формат цитирования: Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Метод и алгоритм расчета системы газолучистого отопления культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха // Природообустройство. 2024. № 5. С. 57-64. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-57-64>

Original article

THE METHOD AND ALGORITHM FOR CALCULATING THE SYSTEM OF GAS-RADIANT HEATING OF A CULTIVATION FACILITY WITH PREHEATING OF THE SUPPLY AIR

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 development of new technologies for maintaining the required microclimate in cultivation facilities presupposes the availability of an appropriate mathematical basis for determining the estimated thermal capacity of heating equipment and the parameters of the heating system, depending on environmental factors. The purpose of the research is to develop a software method for calculating the system of gas-radiant heating of a cultivation facility with preheating of the supply air. The calculation method is based on a system of interrelated equations of the thermal balance of the room, its enclosure and the soil surface. The solution, among other things, includes the utilization of heat from the combustion products of gaseous fuels, as well as radiant heat exchange with multiple reflection and self-radiation occurring between the surfaces of the soil and the fence. The software calculation method also takes into account the effect of moisture evaporation from the soil surface on the heat exchange processes

occurring in the cultivation facility. Based on the developed software calculation method, the parameters of the operation of the gas-flue heating system of a cultivation facility are determined using the example of the industrial greenhouse "Farmer 7.5" (Russian Federation). Under the given initial conditions, the following main calculation results were obtained: the required thermal power of the gas infrared radiator is 68.7 kW; the thermal energy consumption required to heat the supply air before it is supplied to the room is 35.5 kW; the temperature of the preheated supply air is -11.6°C ; the temperature of the inner surface of the fence is 18.6°C . The main assumptions adopted in the development of the calculation method are indicated. The prospects for further scientific research have been identified.

Keywords: gas-radiant heating, cultivation facility, gas infrared radiator, gas air heater, soil, industrial greenhouse

Format of citation: Pavlov M.V., Karpov D.F. Method and algorithm for calculating the system of gas-radiant heating of a cultivation facility with preheating of supply air // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 57-64. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-57-64>

Введение. Тепличное производство является одним из самых энергоемких направлений в сельском хозяйстве. Расход тепловой энергии на нужды отопления в среднем составляет 30 ÷ 50% от себестоимости продукции [1]. Это связано в первую очередь с тем, что для проектирования культивационных сооружений используются тонкие светопрозрачные материалы (например, органическое стекло или соты поликарбонат) с высоким коэффициентом теплопроводности. Для сравнения: поликарбонат толщиной 10 мм имеет термическое сопротивление более чем в 5 раз меньше термического сопротивления кирпичной кладки, которая даже не является теплоизоляционной конструкцией [2]. Таким образом, стремясь к созданию благоприятного светового режима в помещении для выращивания растений, приходится экономить на тепловой защите. В случае неэффективной работы системы отопления данный фактор негативно скажется на параметрах микроклимата обогреваемого помещения. Как следствие, это может привести к снижению урожайности или даже к гибели растений [3]. В итоге получается замкнутый круг: формируя благоприятные условия для выращивания растений, создаем рисковую ситуацию, которая может привести, особенно в зимний период года, к сокращению производства тепличной продукции. На данный момент единственно возможным способом решения рассматриваемой проблемы является разработка новых, высокотехнологичных систем отопления культивационных сооружений.

Разработка альтернативных решений по теплообеспечению культивационных сооружений, на наш взгляд, может осуществляться двумя путями (при этом возможен совместный подход): 1) применением нетрадиционных (возобновляемых) источников энергии [4, 5]; 2) поиском совершенно новых способов или устройств с целью создания благоприятного теплового

режима в помещении для выращивания растений [6, 7].

Наряду с исследованиями тепловлажностного режима почвы в условиях инфракрасного обогрева [8-11] авторами статьи предложен способ газолучистого отопления культивационного сооружения с применением в качестве основного источника теплоты потолочных газовых инфракрасных излучателей темного типа. С целью поддержания необходимой температуры внутреннего воздуха предлагается предварительный подогрев наружного воздуха перед его подачей в помещение на нужды организованной вентиляции. Очевидно, что новый вариант системы отопления предполагает разработку метода его расчета. Последний должен отражать особенности теплообмена в помещении, а также определять мощность отопительной системы, тепловые потери, переменные параметры микроклимата при предварительно заданных исходных условиях. Так, как помимо обогрева почвы, требуется ее периодическое орошение, метод расчета должен учитывать влияние испарения влаги на теплообменные процессы.

Цель исследований: разработать программный метод расчета системы газолучистого отопления культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха.

Материалы и методы исследований. На рисунке 1 представлена расчетная схема, которая описывает основные тепловые процессы, происходящие в культивационном сооружении. Данная схема учитывает как поступающие тепловые потоки в помещение, так и уходящие из него потоки тепловой энергии в окружающую среду (тепловые потери).

В соответствии с данными рисунка 1 поток теплоты в виде длинноволнового инфракрасного излучения $Q_{\text{изл}}$ поступает от потолочного газового инфракрасного излучателя на поверхность почвы. Некоторая часть теплоты от величины $Q_{\text{изл}}$

поглощается слоем почвы, а остальная часть отражается от поверхности почвы в направлении ограждения культивационного сооружения. При этом теплообмен излучением происходит с многократным отражением, вплоть до samozатухания.

Для компенсации тепловых потерь из помещения культивационного сооружения: через ограждение величиной $Q_{огр}$, с вытяжным воздухом $Q_{вент}$, уходящим через вентиляционный проем, и в грунт $Q_{гр}$ – теплового потока $Q_{изл}$ будет недостаточно. Если поддерживать температуру поверхности почвы $2 t_{пов}$ постоянной, то температура внутреннего воздуха $t_{вн.в}$ будет зависеть от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$. Таким образом, для поддержания теплового режима в помещении культивационного сооружения требуется дополнительный источник теплоты – газовый воздухонагреватель с регулируемой тепловой мощностью $Q_{вн}$.

Учитывая особенности работы системы газолучистого отопления культивационного сооружения, стоит отметить, что температура внутреннего воздуха $t_{вн.в}$ и температура поверхности почвы $t_{пов}$ будут постоянными величинами, так как должны соответствовать нормативным требованиям. При этом температуры ограждения $t_{огр}$ и нагретого приточного воздуха $t_{пр.в}$ будут переменными, так как находятся в прямой зависимости от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$.

Для разработки метода расчета системы газолучистого отопления культивационного сооружения требуется отдельно рассмотреть взаимосвязанные элементы, участвующие в теплообмене: обогреваемое помещение, поверхность почвы и ограждение.

Согласно данным рисунка 1 уравнение теплового баланса помещения культивационного сооружения будет иметь вид:

$$Q_{изл} + Q_{ут1} + Q_{вн} + Q_{ут2} = Q_{огр} + Q_{вент} + Q_{гр}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где $Q_{ут1}$ и $Q_{ут2}$ – утилизируемая теплота от продуктов сгорания газообразного топлива, поступающая в помещение, соответственно, от газового инфракрасного излучателя и газового воздухонагревателя, Вт.

Не приводя здесь промежуточных математических преобразований, уравнение (1) можно переписать следующим образом:

$$\frac{Q_{изл}}{\eta_{изл}} + \frac{Q_{вн}}{\eta_{вн}} = Q_{огр} + Q_{вент} + Q_{гр}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $\eta_{изл}$ и $\eta_{вн}$ – коэффициенты преобразования энергии газового инфракрасного излучателя и газового воздухонагревателя 5 соответственно. Они показывают долю начальной энергии, которая перешла в длинноволновое инфракрасное излучение ($\eta_{изл}$) или поступила в помещение культивационного сооружения вместе с нагретым приточным воздухом ($\eta_{вн}$).

Как отмечено выше, падающий поток теплового излучения $Q_{изл}$ только частично поглощается поверхностью почвы (рис. 2). Отраженная часть инфракрасного излучения (без учета рассеивания энергии) падает на поверхность ограждения культивационного сооружения и также только частично им поглощается. С физической точки зрения данный процесс происходит многократно, с постепенным затуханием. Ситуация усложняется еще тем, что отраженное от ограждения тепловое излучение лишь частично возвращается на поверхность почвы. Некоторая часть отраженного лучистого теплового потока снова падает на поверхность ограждения культивационного сооружения в процессе самооблучения.

В соответствии с данными рисунка 2 поток теплового излучения $Q_{изл}$ обеспечивает нагрев поверхности и слоя почвы $t_{пов}$. Поддержание требуемого теплового режима почвы осуществляется благодаря тепловому балансу приходящего

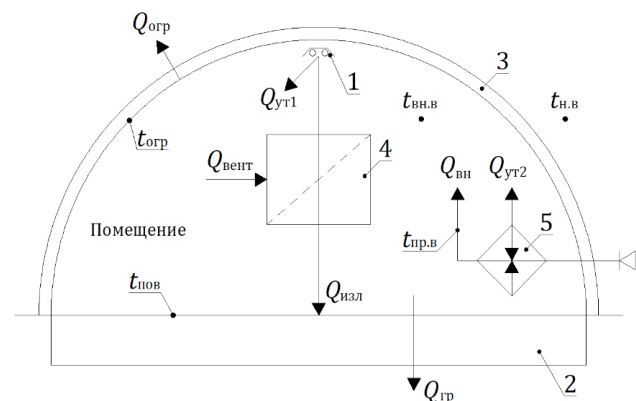


Рис. 1. Расчетная схема теплообмена в культивационном сооружении:

- 1 – газовый инфракрасный излучатель;
- 2 – почва; 3 – ограждение;
- 4 – вытяжной вентиляционный проем;
- 5 – газовый воздухонагреватель

Fig. 1. Calculation scheme of heat transfer in a cultivation facility:

- 1 – gas infrared emitter; 2 – soil; 3 – fencing;
- 4 – exhaust ventilation opening; 5 – gas air heater

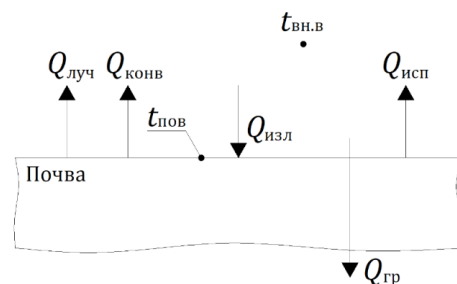


Рис. 2. Расчетная схема теплообмена на поверхности почвы

Fig. 2. Calculation scheme of heat transfer on the soil surface

от газового инфракрасного излучателя теплового потока $Q_{изл}$ и потерь теплоты, которыми в рассматриваемом случае являются лучистая составляющая теплообмена $Q_{луч}$, расход теплоты на конвективный теплообмен с внутренним воздухом помещения $Q_{конв}$, имеющим температуру $t_{вн.в}$, и затраты тепловой энергии на испарительные процессы величиной $Q_{исп}$. Кроме того, часть теплоты $Q_{гр}$ уходит в окружающую среду через грунт (расчет выполняется по зонам поверхности почвы).

Таким образом, уравнение теплового баланса поверхности почвы будет иметь вид (рис. 2):

$$\frac{A_1 Q_{изл}}{1 - k_{отр}} = Q_{луч} + Q_{конв} + Q_{исп} + Q_{гр}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где $k_{отр} = (1 - A_1)(1 - A_2) \frac{\varphi_{21}}{1 - \varphi_{22}(1 - A_2)}$ – коэффициент многократного отражения теплового излучения; A_1 и A_2 – коэффициенты поглощения инфракрасного излучения поверхностями почвы и ограждения соответственно; φ_{21} – угловой коэффициент лучеиспускания поверхностью ограждения в сторону поверхности почвы; φ_{22} – коэффициент самооблученности поверхности ограждения культивационного сооружения.

Часть теплового потока от величины $Q_{изл}$, не поглощенная поверхностью почвы, поступает на поверхность ограждения культивационного сооружения (рис. 3). При этом часть теплоты отражается в сторону почвы, а другая часть снова падает на поверхность ограждения в процессе самооблучения. Кроме того, вследствие температурного напора, вызванного разностью температуры внутреннего воздуха $t_{вн.в}$ и ограждения $t_{отр}$, формируется конвективная составляющая $Q_{конв}$, а в результате разности температуры почвы (на рис. 3 не обозначена) и ограждения $t_{отр}$ – лучистая составляющая теплообмена $Q_{луч}$. В сумме перечисленные тепловые потоки формируют общие тепловые потери через ограждение культивационного сооружения величиной $Q_{отр}$.

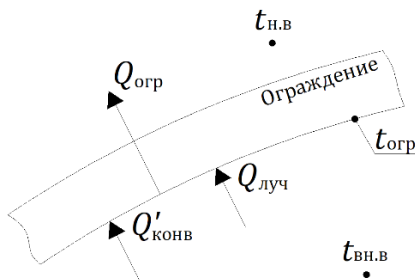


Рис. 3. Расчетная схема теплообмена через ограждение культивационного сооружения

Fig. 3. The design scheme of heat transfer through the fence of the cultivation facility

На основании изложенного запишем уравнение теплового баланса ограждения культивационного сооружения (рис. 3):

$$Q_{отр} = \left(1 - \frac{A_1}{1 - k_{отр}}\right) Q_{изл} + Q_{луч} + Q'_{конв}, \text{ Вт}. \quad (4)$$

С другой стороны, потери теплоты через ограждение культивационного сооружения определяются по уравнению теплопередачи:

$$Q_{отр} = \frac{t_{отр} - t_{н.в}}{R_{отр} + \frac{1}{\alpha_n}} F_{отр} (1 + \beta_{инф}), \text{ Вт}, \quad (5)$$

где $R_{отр}$ – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м} \cdot \text{К} / \text{Вт}$; α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $F_{отр}$ – площадь поверхности ограждения культивационного сооружения, м^2 ; $\beta_{инф}$ – добавочный коэффициент, учитывающий дополнительные затраты тепловой энергии на нагрев инфилтующегося наружного воздуха.

Решение системы взаимосвязанных уравнений (2)-(5) позволяет определить температуру внутреннего воздуха $t_{вн.в}$, °С, и температуру поверхности ограждения $t_{отр}$ культивационного сооружения. Здесь стоит отметить, что большая часть тепловых потоков, входящих в систему уравнений (2)-(5), определяется по собственным зависимостям, в которые входят, как правило, искомые величины $t_{вн.в}$ и $t_{отр}$. Например, тепловой поток, вызванный конвективным теплообменом между поверхностью почвы и внутренним воздухом, рассчитывается по известному уравнению конвективного теплообмена (уравнению Ньютона-Рихмана):

$$Q_{конв} = \alpha_k (t_{пов} - t_{вн.в}) F_{пов}, \text{ Вт}, \quad (6)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи поверхности почвы при вынужденной конвекции (определяется с помощью теории подобия тепловых процессов через систему безразмерных чисел или критериев), $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $F_{пов}$ – площадь поверхности почвы, м^2 .

Тепловая мощность газового инфракрасного излучателя $Q_{изл}$, Вт, в отличие от других тепловых потоков не определяется по специальной формуле, а является искомой величиной в системе уравнений теплового баланса культивационного сооружения (2), поверхности почвы (3) и ограждения (4). При этом тепловая мощность газового воздухонагревателя в уравнении (2) рассчитывается по формуле:

$$Q_{вн} = G_v (h_{пр.в} - h_{н.в}), \text{ Вт}, \quad (7)$$

где G_v – расход сухой части воздуха, $\text{кг} / \text{с}$, участвующего в воздухообмене в помещении, зависит от нормируемой кратности воздухообмена в помещении; $h_{пр.в}$ и $h_{н.в}$ – соответственно удельная энтальпия приточного и наружного воздуха, $\text{Дж} / \text{кг}$.

В общем виде удельная энтальпия влажного воздуха в уравнении (7) находится следующим образом:

$$h_b = 1005t_b + (2500 + 1,8t_b)d_{п}, \text{ Дж / кг}, \quad (8)$$

где $d_{п}$ – паросодержание влажного воздуха, г / кг.

Результаты и их обсуждение. В соответствии с предложенной системой уравнений (2)-(5) и (7) рассмотрим алгоритм расчета системы газолучистого отопления культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха на нужды организованной вентиляции (рис. 4).

Поясим основные элементы блок-схемы (рис. 4) на примере промышленной теплицы «Фермер 7.5» (Российская Федерация).

Блок «Исходные параметры»

1. Геометрические параметры, куда входят линейные размеры промышленной теплицы: ширина $a = 7,45$ м; длина $b = 8,40$ м; высота $h = 3,80$ м.

2. Параметры поверхности почвы. В первую очередь, к ним относятся температура $t_{пов} = 24$ °С и коэффициент поглощения теплового излучения поверхностью почвы $A_1 = 0,65$.

3. Параметры ограждения. Промышленная теплица выполнена из сотового поликарбоната с термическим сопротивлением ограждающей конструкции $R_{орг} = 0,25$ м² · К / Вт и коэффициентом поглощения теплового излучения $A_2 = 0,94$.

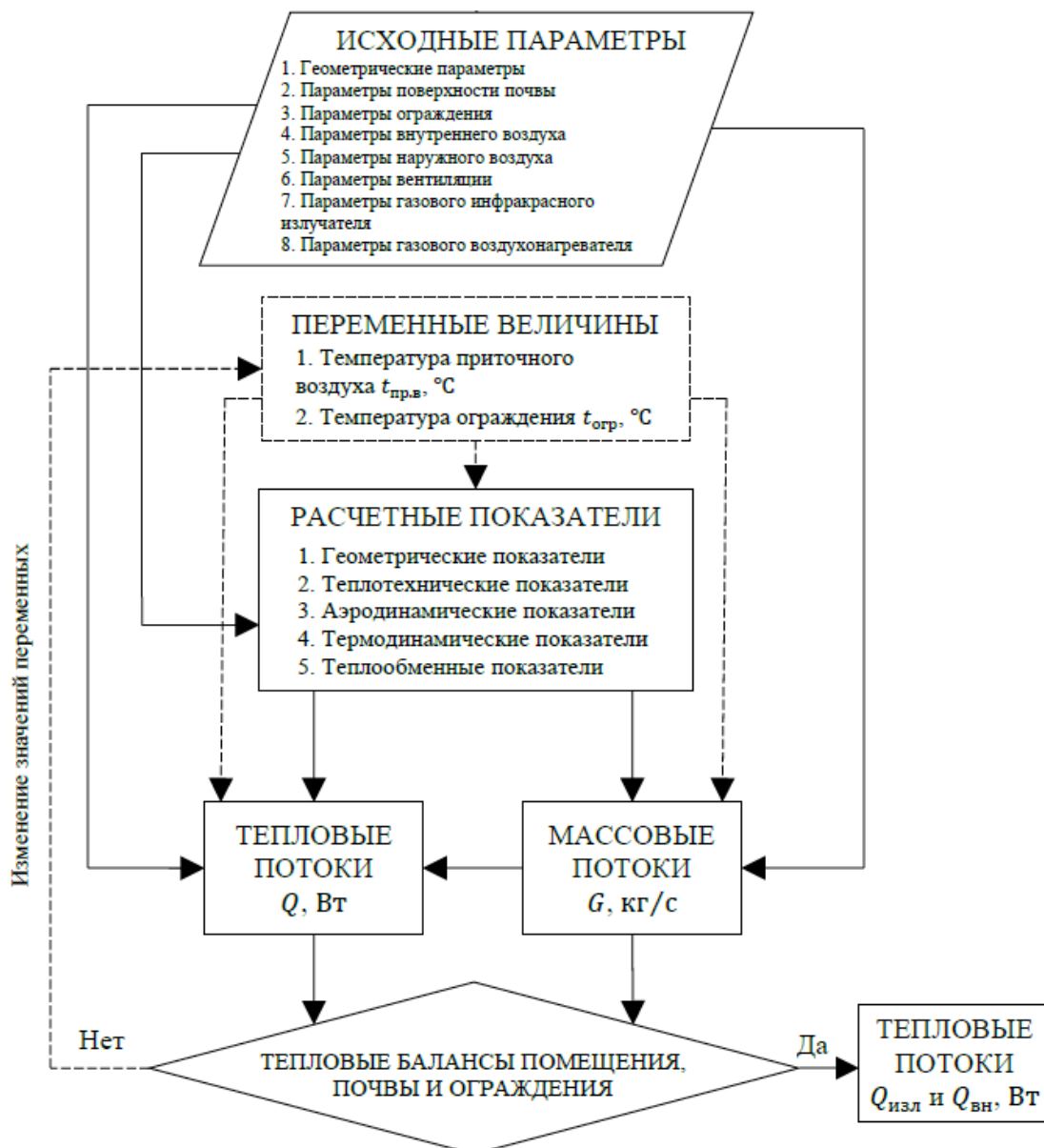


Рис. 4. Газолучистое отопление культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха (блок-схема решения)

Fig. 4. Gas-radiant heating of a cultivation facility with preheating of the supply air (block diagram of the solution)

4. Параметры наружного воздуха. Для условий г. Вологды расчетные значения температуры и относительной влажности наружного воздуха будут, соответственно, равны $t_{н.в} = -32\text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_{н.в} = 85\%$.

5. Параметры вентиляции. В помещении может быть естественная вентиляция, но, как правило, для поддержания требуемого воздушного режима применяется воздухообмен с механическим побуждением (с использованием вентиляторов). В данном случае кратность воздухообмена в помещении принята как $n_v = 1,0\text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 расчетной площади.

6. Параметры газового инфракрасного излучателя. В соответствии с паспортными данными газового инфракрасного излучателя коэффициент преобразования энергии равен $\eta_{изл} = 0,80$.

7. Параметры газового воздухонагревателя. В соответствии с паспортными данными газового воздухонагревателя коэффициент преобразования энергии равен $\eta_{вн} = 0,88$.

Блок «Переменные величины»

Переход от исходных параметров к расчетным показателям невозможен без предварительно заданных переменных величин, которыми в данном случае являются:

1. Температура приточного воздуха. По результатам программных вычислений температура предварительно подогретого приточного воздуха составила $t_{пр.в} \approx -11,6\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Температура ограждения. По результатам программных вычислений температура внутренней поверхности ограждения $-t_{орг} \approx 18,6\text{ }^\circ\text{C}$.

Блок «Расчетные показатели»

В рассматриваемый блок входят все геометрические, теплотехнические, аэродинамические, термодинамические и другие показатели, полученные с учетом имеющихся исходных данных по результатам программных вычислений. Например, к данному блоку относятся суммарная площадь ограждающей конструкции промышленной теплицы $F_{орг} \approx 140,29\text{ м}^2$, площадь поверхности почвы $F_{пов} = 62,58\text{ м}^2$, расход сухой части воздуха, поступающего в промышленную теплицу, $G_b \approx 1,53\text{ кг/с}$, или средняя скорость воздуха в помещении $w_b \approx 0,048\text{ м/с}$.

Блок «Тепловые потоки»

Когда известны исходные данные расчета и определены предварительные значения переменных параметров микроклимата культивационного сооружения (температура приточного воздуха $t_{пр.в}$ и температура поверхности ограждения $t_{\text{а.о}}$), выполняется расчет тепловых потоков, входящих в систему уравнений (2)-(5).

В рассматриваемом примере получены следующие результаты программных вычислений:

– тепловые потери теплопередачей через ограждение промышленной теплицы $Q_{орг} \approx 29,0\text{ кВт}$;

– тепловые потери из помещения промышленной теплицы вместе с уходящим вентиляционным воздухом $Q_{вент} \approx 95,3\text{ кВт}$;

– тепловые потери в окружающую среду через грунт $Q_{гр} \approx 1,82\text{ кВт}$;

– лучистая составляющая теплообмена между поверхностями почвы и ограждения промышленной теплицы $Q_{луч} \approx 1,251\text{ кВт}$;

– конвективная составляющая теплообмена между поверхностью почвы и внутренним воздухом помещения $Q_{конв} \approx 0,042\text{ кВт}$;

– конвективная составляющая теплообмена между внутренним воздухом и ограждением промышленной теплицы $Q_{конв} \approx 4,17\text{ кВт}$;

– расход тепловой энергии на испарение влаги с поверхности почвы $Q_{исп} \approx 42,0\text{ кВт}$.

Для определения теплового потока $Q_{исп}$ требуется предварительно вычислить массовый расход испаряемой влаги, который в данном случае равен $G_{исп} \approx 0,017\text{ кг/с}$ (или $\approx 61,2\text{ кг/ч}$).

На основе известных потерь теплоты в окружающую среду и тепловых потоков между элементами культивационного сооружения выполняется определение расходов тепловой энергии (расчетных тепловых нагрузок) на поддержание требуемого микроклимата в помещении. В рассматриваемом примере системе уравнений (2)-(5) и (7) соответствует следующее решение: требуемая тепловая мощность газового инфракрасного излучателя $Q_{изл} \approx 68,7\text{ кВт}$; необходимый расход тепловой энергии на нагрев наружного воздуха перед его подачей в промышленную теплицу $Q_{вн} \approx 35,5\text{ кВт}$. Таким образом, общая тепловая производительность комбинированной системы отопления промышленной теплицы составила $Q_{общ} \approx 104,2\text{ кВт}$.

На основе системы математических уравнений (2)-(5) и (7) разработана программа для расчета лучистого отопления культивационного сооружения с предварительным подогревом приточного воздуха в математическом редакторе Mathcad. Наряду с такими программными системами, как FlowVision или Ansys, позволяющими моделировать тепловые и гидродинамические процессы физических тел и сред, разработанный программный продукт предназначен для решения практико-ориентированных инженерных задач, связанных в первую очередь с определением необходимой тепловой мощности системы газолучистого отопления

при заданных условиях с целью обеспечения требуемых параметров микроклимата в культивационном сооружении.

Выводы

Несмотря на имеющиеся технические трудности выполнения программных вычислений и большое количество расчетных значений, предложенный метод расчета предполагает ряд допущений. Во-первых, не учитывается влияние растений на теплообменные процессы в помещении и почве. Как известно, теплообмен излучением достаточно сложен в расчетах за счет бесконечного числа поглощений и отражений теплового потока, особенно при большом количестве тел, участвующих в теплообмене. С учетом вегетационного периода развития растений данная проблема становится практически нерешаемой. Во-вторых, внутренней воздух, строго говоря, не является диатермической средой. Как известно, водяные пары в составе влажного воздуха поглощают длинноволновое инфракрасное излучение. В программном расчете данный фактор как допущение не учитывается. Предполагается, что

в лучистом теплообмене участвуют только три основных элемента: газовый инфракрасный излучатель, поверхность почвы и внутренняя поверхность ограждения культивационного сооружения (не учитываются присутствие людей или наличие светотехнического оборудования).

На наш взгляд, программный метод расчета должен быть не усложнен, а наоборот, сведен до относительно упрощенной инженерной методики расчета. В дальнейшем планируется построение системы графиков и использования простых математических уравнений с поправочными (корректирующими) коэффициентами, благодаря которым инженер-проектировщик за короткий срок мог бы получить основные результаты расчета: требуемую тепловую мощность газового инфракрасного излучателя и расход тепловой энергии, необходимый для нагрева наружного воздуха в газовом воздухоподогревателе перед его подачей в помещение. Очевидно, что на начальном этапе разработанная инженерная методика расчета должна быть верифицирована с помощью существующего программного метода.

Список использованных источников

1. **Ляшенко Т.А., Черемисина С.А.** Исследование энергоэффективности системы отопления в теплицах для условий Амурской области // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 35-3. С. 13-17. DOI: 10.18411/lj-28-02-2018-43.
2. **Липатов А.В., Спиридонова Е.В., Фролов А.Ф.** Повышение эффективности систем отопления теплиц // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы V Международной научно-практической конференции. 2017. С. 108-112.
3. **Сазонова С.А., Николенко С.Д., Манохин М.В.** Разработка математических моделей для мониторинга водяного отопления теплиц с саженцами ценных пород леса // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 3 (31). С. 187-194. DOI: 10.12737/article_5b97a15e9393c4.46673542.
4. **Минцаев М.Ш., Якубов Т.В., Барзаева М.А.** Технично-экономическое обоснование использования геотермальных ресурсов для отопления тепличных комплексов // Вести газовой науки. 2021. № 4 (49). С. 176-183.
5. **Ежов С.А.** Особенности использования возобновляемых энергетических ресурсов в системах отопления теплиц / Токарева А.Н., Демченко М.С., Липкович И.Э. / Современные научные исследования: проблемы и перспективы: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Киров: 2022. С. 124-128.
6. **Цымбалюк Ю.В.** Интегрированная система отопления современных теплиц с применением фазопереходных тепловых аккумуляторов // Перспективы развития строительного комплекса. 2016. № 1. С. 102-106.
7. **Беляева Е.А., Хальметов А.А.** Система работы инфракрасного отопления с помощью пленочных электронагревателей // Инновации природообустройства

References

1. **Lyashenko T.A., Cheremisina S.A.** Study of energy efficiency of the heating system in greenhouses for the conditions of the Amur region // Trends in the development of science and education. 2018. № 35-3. P. 13-17. DOI: 10.18411/lj-28-02-2018-43.
2. **Lipatov A.V., Spiridonova E.V., Frolov A.F.** Improving the efficiency of greenhouse heating systems // Innovation technologies in construction heat-gas supply and energy providing: materials of the Vth International scientific-practical conference. 2017. P. 108-112.
3. **Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manokhin M.V.** Development of mathematical models for monitoring water heating of greenhouses with seedlings of valuable forest species // Forestry journal. 2018. V. 8. № 3 (31). P. 187-194. DOI: 10.12737/article_5b97a15e9393c4.46673542.
4. **MintsaeV M.Sh., Yakubov T.V., Barzaeva M.A.** Feasibility study of the use of geothermal resources for heating greenhouse complexes // News of the gas industry. 2021. № 4 (49). P. 176-183.
5. **Ezhov S.A., Tokareva A.N., Demchenko M.S., Lipkovich I.E.** Features of the use of renewable energy resources in greenhouse heating systems // Modern scientific research: problems and perspectives: collection of materials of the VIth International scientific-practical conference. Kirov, 2022. P. 124-128.
6. **Tsybalyuk Y.V.** Integrated heating system of modern greenhouses with the use of phase-transition heat accumulators // Prospects for the development of the construction complex. 2016. № 1. P. 102-106.
7. **Belyaeva E.A., Haljmetov A.A.** Sistem of the work of the infrared heating by means of the strip electric heating // Innovations of nature management and environmental protection: materials of I International scientific-practical

и защиты окружающей среды: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов: ООО КУБиК 2019. С. 18-21.

8. **Павлов М.В., Карпов Д.Ф.** Решение краевой задачи теплопереноса методом источников для условий лучистого обогрева почвы // Природообустройство. 2023. № 4. С. 15-20. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-15-20.

9. **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. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-18-24.

10. **Павлов М.В., Карпов Д.Ф.** Решение краевой задачи теплопереноса методом совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова-Галеркина для условий лучистого обогрева почвы // Природообустройство. 2024. № 3. С. 21-30. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>

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

Информация 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; RSCI ID: 564419; SPIN-код: 6544-7267; pavlovmv@vogu35.ru

Денис Федорович Карпов, старший преподаватель кафедры теплогазоводоснабжения; Author ID SCOPUS: 57210325021; WoS ResearcherID: AAF-2092-2021; ORCID: 0000-0002-3522-9302; RSCI ID: 564418; SPIN-код: 9241-4996; karpovdf@vogu35.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Павлов М.В. и 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 28.06.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

conference with the international participation. Saratov: KUBiK 2019 LLC. P. 18-21.

8. **Pavlov M.V., Karpov D.F.** Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the source method for conditions of radiant soil heating // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 4. P. 15-20. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-15-20.

9. **Pavlov M.V., Karpov D.F.** Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the method of finite integral Fourier transform for conditions of radiant soil heating. Prirodoobustrojstvo. 2024. № 1. P. 18-24. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-18-24.

10. **Pavlov M.V., Karpov D.F.** Solution of the boundary value problem of heat and mass transfer by the method of joint application of the integral Laplace transform and the Bubnov-Galerkin variational method for conditions of radiant soil heating. Prirodoobustrojstvo. 2024. № 3. P. 21-30. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>

11. **Pavlov M.V., Karpov D.F., Sinitsyn A.A., et al.** Study of heat and mass transfer processes in the soil layer on the example of milled peat at infrared radiant heating: a textbook. Vologda: VoGU, 2015. 192 p.

Author information

Mikhail V. Pavlov, CSe(Eng), associate professor of the Department of Heat and Gas Supply; Author ID SCOPUS: 57204361039; WoS ResearcherID: AAN-5773-2021; ORCID: 0000-0002-8687-3296; RSCI ID: 564419; SPIN code: 6544-7267; pavlo-vmv@vogu35.ru

Denis F. Karpov, senior lecturer department of Heat and Gas Supply; Author ID SCOPUS: 57210325021; Was ResearcherID: AAF-2092-2021; ORCID: 0000-0002-3522-9302; RSCI ID: 564418; SPIN code: 9241-4996; 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, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-65-70>

УДК 631.51:633.49



ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ НАТУРАЛЬНОГО МИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

И.Н. Гаспарян^{1✉}, Н.Ф. Денискина², О.Н. Ивашова², Ш.В. Гаспарян², А.Г. Левшин^{1,2}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова; 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

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

Аннотация. Цель исследований – изучение натурального минерального комплекса на продуктивность и качество продукции картофеля. В современных условиях особое значение приобретает внедрение безопасных технологий возделывания с применением натуральных минеральных комплексов для обеспечения населения экологически чистым питанием. Использование натурального минерального комплекса в условиях Московской области является перспективным способом повышения продуктивности культуры на 12-39% за счет увеличения массы клубней и количества. Новый технологический прием влагосбережения позволяет получить экологически чистую продукцию за счет улучшения питания и снижения стрессовых ситуаций по причине недостатка воды. Это внесет определенный вклад в разработку конкурентоспособной отечественной технологии возделывания картофеля, позволит увеличить урожайность и валовый сбор, тем самым улучшить питание населения и продовольственную безопасность страны.

Работа выполнена по госзаданию № FGWR-2021-0002.

Ключевые слова: картофель, влагосбережение, глауконитовые пески, минеральные элементы, урожайность

Формат цитирования: Гаспарян И.Н., Денискина Н.Ф., Ивашова О.Н., Гаспарян Ш.В., Левшин А.Г. Особенности применения в технологии возделывания картофеля натурального минерального комплекса // Природообустройство. 2024. № 5. С. 65-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-65-70>

Original article

FEATURES OF APPLICATION OF NATURAL MINERAL COMPLEX IN POTATO CULTIVATION TECHNOLOGY

I.N. Gasparyan^{1✉}, N.F. Deniskina², O.N. Ivashova², Sh.V. Gasparyan², A.G. Levshin²

¹All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov; 31a Pryanishnikova str., Moscow, 127434, Russia

²Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; Institute of land reclamation, water management and building named after A.N. Kstyakov; 127434, Moscow, 49, Timiryazevskaya str., Russia

Abstract. The purpose of the study is to study the effect of a natural mineral complex on the productivity and quality of potato products. In modern conditions, the introduction of safe cultivation technologies using natural mineral complexes is of particular importance to provide the population with environmentally friendly food. The use of a natural mineral complex in the Moscow region is a promising way to increase crop productivity by 12-39% by increasing the mass of tubers and their quantity. A new technological method of moisture conservation allows obtaining environmentally friendly products by improving nutrition and reducing stress situations due to lack of water. This will make a certain contribution to the development of a competitive domestic technology for cultivating potatoe, will increase the yield and gross harvest, thereby improving the nutrition of the population and food security of the country.

The work was carried out according to the state task No. FGWR-2021-0002.

Keywords: potatoes, moisture conservation, glauconitic sands, mineral elements, productivity

Format of citation: Gasparyan I.N., Deniskina N.F., Ivashova O.N., Gasparyan Sh.V., Levshin A.G. Features of application of natural mineral complex in potato cultivation technology // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 65-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-65-70>

Введение. Картофель в России является одним из самых важных сельскохозяйственных культур, которая пользуется большим спросом. В «Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельхозпродукции, сырья и продовольствия» предполагается наращивание производства картофеля не только для питания, но и для развития экспортных поставок, развития отечественной переработки. В современных условиях особое значение приобретает внедрение безопасных технологий возделывания с применением натуральных минеральных комплексов для обеспечения населения экологически чистым питанием.

В настоящие годы население все больше интересуется здоровым питанием, а оно предполагает содержание в продуктах необходимых микроэлементов, так как их недостаток является причиной многих функциональных расстройств. Микроэлементы для растений необходимы в очень небольших количествах, так как входят в состав различных ферментов, являются катализаторами биохимических реакций, происходящих в растении, отвечают за созревание, за устойчивость к различным неблагоприятным климатическим условиям и т.д. [1].

При дефиците элементов в почве обязательно будет дефицит этих элементов и в сельскохозяйственной продукции. При регулировании всех факторов в интенсивной технологии возделывания лимитирующим фактором будут микроэлементы и содержание влаги. В Московской области находятся в основном дерново-подзолистые почвы, в которых, по данным некоторых ученых, содержание микроэлементов довольно низкое. В связи с этим изучение натурального минерального комплекса, содержащего микроэлементы, и применение [2, 3] их на дерново-подзолистых почвах Московской области в технологии возделывания картофеля являются актуальными и позволят увеличить не только урожайность, но и качество продукции.

Натуральным минеральным комплексом являются глауконитовые пески. Они содержат до 7% калия, и поэтому их можно использовать как калийное удобрение, в составе которого есть и микроэлементы. Среди них – бор, фосфор, калий, стронций, йод, медь, ванадий, серебро, никель, селен, марганец, цинк, кобальт, кальций, хром, кадмий, бериллий, платина, молибден и др. Все микроэлементы находятся в легкоизвлекаемой форме [3, 4].

В настоящее время, в период изменения климата, рост растений и формирование клубней происходят в условиях перепада температур

и влажности. Стрессовые условия развития растений сказываются на урожайности. По причине повышения температуры водных ресурсов будет не хватать, особенно для сельскохозяйственного производства.

Как известно, вода является важнейшим фактором для жизнедеятельности растений, поэтому для успешного возделывания в условиях изменения климата необходимо искать новые технологические приемы влагосбережения [4].

Предлагаемая технология возделывания картофеля с применением натурального минерального комплекса в условиях Московской области является перспективным способом повышения продуктивности культуры и получения экологически чистой ранней продукции за счет улучшения питания и снижения стрессовых ситуаций ввиду недостатка воды. Это внесет определенный вклад в разработку конкурентоспособной отечественной технологии возделывания картофеля, позволит увеличить урожайность и валовый сбор, тем самым улучшить качество питания населения и повысить продовольственную безопасность страны.

Цель исследований: изучение натурального минерального комплекса на продуктивность и качество продукции картофеля.

Материалы и методы исследований. Исследования возделывания двух урожаев картофеля проводятся с 2021 г. на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии Барыбино, расположенной в микрорайоне Белые Столбы (Московская область, Домодедовский район, микрорайон Белые Столбы). Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Содержание гумуса составляет 2,11% (по Тюрину), подвижного фосфора – 16,15 мг/кг, обменного калия – 79,10 мг/кг (по Чирикову), кислотность солевой вытяжки – 5,7 ед. рН (ГОСТ 26483-85), густота стояния – 47,6 тыс. растений на 1 га. Варианты: 1) контроль; 2) полив 300 м³/га (30 л/м²); 3) глауконитовые пески 20 г/растение или куст; 4) глауконитовые пески 20 г/растение или куст + полив (15 л/м²). Полив осуществляется через 10 дней в предлагаемой норме. Технология возделывания является стандартной. Посадка производится рендомизированно, осуществлялась картофелесажалкой для полевых опытов. Уборку проводили вручную для учета структуры урожая и общей урожайности [5, 6]. Сорт – Варяг.

Глауконит является минералом из группы гидрослюд зеленоватого цвета различных оттенков: от голубовато-зеленого до буровато-зеленого. Как самостоятельный минерал, известен с 1828 г. из работы немецкого минералога Кеферштейна,

давшего ему название [3, 4]. Глауконит, или glauconite, представляет собой слоистую магнезиально-железистую гидрослюда. Использовали глауконит Бондарского месторождения Тамбовской области. Он имеет следующий химический состав: окись калия (K_2O) 4,4...9,4%; окись натрия (Na_2O) 0...3,5%; окись алюминия (Al_2O_3) 5,5...22,6%; окись железа (Fe_2O_3) 6,1...27,9%; закись железа (FeO) 0,8...8,6%; окись магния (MgO) 2,4...4,5%; двуокись кремния (SiO_2) 47,6... 52,9%; вода (H_2O) 4,9...13,5%.

Глауконит содержит высокое количество калия (4,4...9,4%), которое способно быстро разрушаться с высвобождением калия в виде легкоусвояемых соединений, а также микроэлементы [3, 4]. Глауконит обладает высокими адсорбционными и катионообменными свойствами (удельная поверхность их – 40...100 кг/г, обменная емкость – 15... 20 мг/экв. на 100 г породы), сорбирует внешней поверхностью, их пористость обусловлена зазорами между контактирующими частицами [7-9]. Гранулометрический состав представлен в основном фракцией

0,5 ± 0,001 мм (до 93%). Процентное содержание глауконита увеличивается в мелких фракциях. Размеры зерен варьируют от 0,02 до 20 мм. Форма зерен разнообразная [4], содержание глауконита составляет в среднем 47%. Имеется значительная доля в песках монтмориллонита и тонкодисперсной органики [9, 11].

Температурные и влажностные условия в вегетационные периоды 2022-2023 гг. были благоприятными, что следует из данных рисунков 1, 2.

Полевые опыты проведены по методическим рекомендациям НИИ картофельного хозяйства 1967 г. «Методика исследований по культуре картофеля» [6], общепринятой методике полевых исследований [5], а также проведена статистическая обработка результатов исследований [6], что позволило сделать соответствующие выводы.

Результаты и их обсуждение. В последние годы климат меняется весьма интенсивно [12], осадки выпадают неравномерно. Так, по данным таблицы 1, в мае 2022 г. выпало более

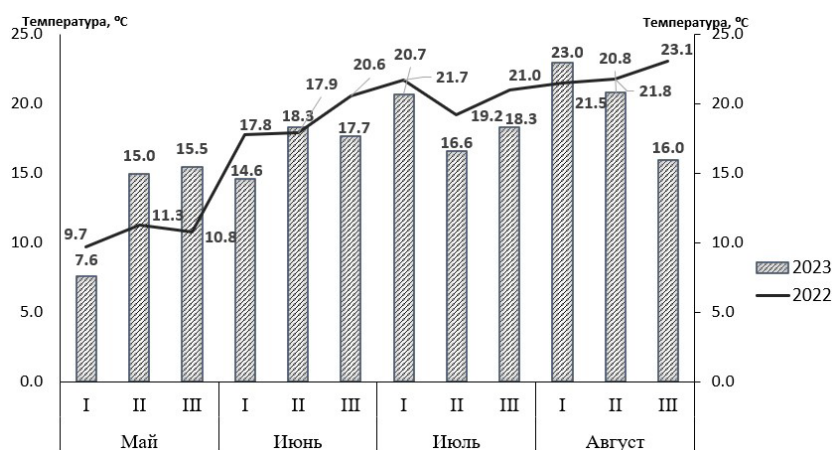


Рис. 1. Осадки за вегетационные периоды 2022-2023 гг.

Fig. 1. Precipitation for the growing seasons of 2022-23

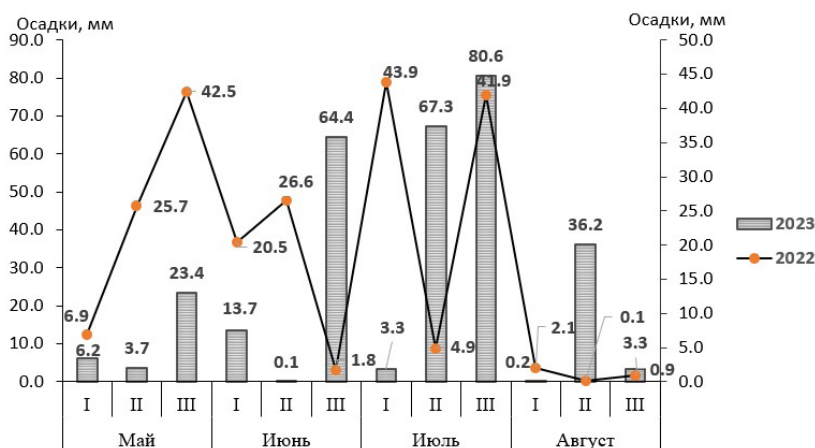


Рис. 2. Температура за вегетационные периоды 2022-2023 гг.

Fig. 2. Temperature for the growing seasons of 2022-23

140% от нормы, в июле 2023 г. – 215%, а в августе 2022 г. – всего 8% от нормы.

Интенсивное поступление влаги, как и недостаток, для растений является стрессом. Для нормального роста и развития растений картофеля необходимо постоянное поступление влаги [10-12] – в небольших количествах и в пределах 5-6 мм ежедневно.

Почвы Московской области, где проводятся исследования, отличаются тем, что при поступлении влаги они довольно рыхлые, а при ее недостатке становятся твердыми, с плотной коркой. Для развития клубней картофеля условия являются не совсем благоприятными, так как клубни развиваются в почве и, увеличиваясь в размерах, отодвигают частицы почвы. К сожалению, если почва твердая, то образуются уродливые клубни неправильной округленной формы. Такие клубни сложно подвергать очистке для переработки, углубления часто остаются невычищенными.

Природный минеральный комплекс обладает высокими поглощающими и аккумулирующими свойствами, что позволяет снабжать растение влагой постепенно и получать качественный продукт для переработки [9]. Даже в условиях полива поры песков постепенно высвобождаются. Для органического земледелия природный минеральный комплекс также представляет интерес, так как содержит микроэлементы и калий, которые способствуют получению более качественной продукции.

Итогом всех сложнейших процессов, происходящих в растении (биохимических,

физиологических), является урожайность [1, 9, 10], которая представлена в таблице 1.

Контрольный вариант показал самую низкую урожайность – 36,4 т/га. Применение глауконитовых песков увеличивает урожайность на 12,0% – в основном за счет средней фракции, мелкой фракции немало. При поливе нормой 300 м³/га через каждые 10 дней увеличивается урожайность примерно на 23,9%, при этом увеличивается масса крупной и средней фракций, а также их количество. Мелкая фракция остается небольшой по массе и количеству. При добавлении в технологию возделывания глауконитовых песков и полива половинной нормой урожайность была повышена и составила 50,7 т/га. Это позволяет снизить норму полива, что весьма важно для овощеводческих хозяйств в засушливый период, так как полив необходим многим овощным культурам.

Важным для получения ранней продукции является качество клубней, которое зависит от химического состава. Многочисленные исследования говорят о том, что химический состав сильно варьирует в зависимости от особенностей выращивания (климатических, погодных, типа почвы, применяемых удобрений, агротехники) [4]. В данном случае исследования проводились в одних условиях, агротехника не различалась, погодные условия также были одинаковыми. Проведенный химический анализ не выявил различий в биохимическом составе исследуемых вариантов. Сухих веществ содержалось 20,15%. Больше сухих веществ оказалось в сосудистых пучках, снижение показателей было в периферии

Таблица 1. Структура урожая, с. Варяг, в среднем за годы исследований

Table 1. Yield structure, Varyag village, on average over the years of research

Вариант Variant	Мелкие 30 > г Small 30 > g		Средние 30-80 г Middle 30-80 g		Крупные 80 < Large 80 <		Количество клубней с 1 куста, шт. Number of tubers from one bush, pcs	Масса клубней с 1 куста, г Weight of tubers from one bush, g	Урожайность, т/га Crop capacity, t / ha	±% от контроля кол-во клубней / масса клубней ±% of control number of tubers / weight of tubers
	шт. pcs	г g	шт. pcs	г g	шт. pcs	г g				
Контроль / Control	2,7	80	3,7	290	3,5	394	10,9	764	36,4	-
Полив (30 л/м ²) Watering (30 l / m ²)	3,0	85	5,6	439	4,8	423	13,4	947	45,0	+22,9/23,9
Глауконитовые пески 20 г/раст. Glaucconitic sands 20g / plant	3,9	110	4,8	380	4,2	366	12,9	856	40,8	+18,3/+12,0
Глауконитовые пески 20 г/раст. + полив (15 л/м ²) Glaucconitic sands 20g / plant + watering (l / m ²)	2,8	80	5,8	450	6,2	535	14,8	1065	50,7	+35,8/+39,4
НСР ₀₅ / NSR ₀₅ (Least significant difference)	0,18	2,9	0,21	9,8	0,08	8,5	1,4	21,2	1,8	

Таблица 2. Содержание макро и микроэлементах, с. Варяг, в среднем за годы исследований

Table 2. Content of macro and microelements, Varyag village, on average over the years of research

Название Name	Количество, мг/100 г Quantity, mg / 100 g
Калий / Potassium	489,0
Кальций / Calcium	9,8
Кремний / Silicon	49,0
Магний / Magnesium	27,5
Натрий / Sodium	9,5
Сера / Sulfur	30,0
Фосфор / Phosphorus	58,0
Бор / Boron	110,0
Марганец / Manganese	130 мкг

Список использованных источников

1. Дыйканова М.Е. Использование микроэлементов в технологии возделывания картофеля / Ивашова О.Н., Гаспарян И.Н., Левшин А.Г. // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием «Приоритетные направления регионального развития». Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. С. 670-674.
2. Irina Gasparyan, Marina Dyikanova, Alexander Levshin, Andrey Kalilets and Roman Korshunov. Use of Glaucanite in Potato Cultivation Technology // International scientific and practical conference «AgroSMART – Smart solutions for agriculture». KnE Life Sciences. 2019. Pp. 912-919. DOI: 10.18502/kl.v4i14.568913.
3. Вигдорович В.И. Адсорбционные процессы (теория, практика, экологические аспекты): учебное пособие для студентов химических специальностей университетов / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, Л.Г. Князева; Науч. ред.: В.И. Вигдорович. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2014. 150 с.
4. Вигдорович В.И. Глауконит Бондарского месторождения (сорбционная способность, перспективы использования): Монография / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, А.В. Михайлюк. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2018. 288 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1973. 336 с.
6. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 263 с.
7. Дыйканова М.Е.. Влияние концентрата глауконитовых песков на продуктивность картофеля / Ивашова О.Н., Левшин А.Г., Гаспарян И.Н., Гаспарян Ш.В // Картофель и овощи. 2020. № 4. С. 33-36. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.44.51.006>
8. Левченко М.Л. Особенности глауконита Бондарского месторождения Тамбовской области // Вестник ВГУ. Серия «Геология». 2008. № 1. С. 65-69.
9. Левшин А.Г. Применение глауконитового песка в технологиях возделывания экологически

клубня и внутренней сердцевине. Содержание крахмала в среднем составило 14,51%, в вариантах показатели были близкими.

Как известно, картофель является источником минеральных веществ, и в нем представлены соли калия и фосфора, имеются также кальций, натрий, кремний, магний, сера, железо и микроэлементы – бор, марганец (табл. 2). Больше их содержалось в коре, меньше – в сердцевине [1, 7].

Выводы

Исследуемый натуральный минеральный комплекс в технологии возделывания позволит увеличить урожайность на 12% при отдельном внесении и совместном применении с поливом на 39%, что в дальнейшем скажется на валовом сборе. Повышение эффективности производства связано с использованием доступного для растений минерального питания.

References

1. Dyikanova M.E. The use of trace elements in potato cultivation technology / Ivashova O.N., Gasparyan I.N., Levshin A.G. // Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation "Priority directions of regional development". Kurgan: Publishing house Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev 2020. P. 670-674.
2. Irina Gasparyan, Marina Dyikanova, Alexander Levshin, Andrey Kalilets, and Roman Korshunov, (2019), "Use of Glaucanite in Potato Cultivation Technology" in International scientific and practical conference "AgroSMART – Smart solutions for agriculture", KnE Life Sciences P. 912-919. DOI 10.18502/kl.v4i14.568913
3. Vигdorovich V.I. Adsorption processes (theory, practice, environmental aspects): textbook for students of chemical specialties of universities / V.I. Vигdorovich, L.E. Tsygankova, N.V. Shel, L.G. Knyazeva; scientific ed.; V.I. Vигdorovich. Tambov: Publishing house Pershina R.V., 2014. 150 p.
4. Vигdorovich V.I. Glaucanite of the Bondarskoye deposit (sorption capacity, prospects of use): monograph / Tsygankova L.E., Shel N.V., Mikhailyuk A.V. / . Tambov: Publishing house Pershina R.V., 2018. 288 p.
5. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 3rd ed., reprint, supplement M.: Kolos, 1973336 p.
6. Methods of research on potato culture M.: NIИKH, 1967. 263 p.
7. Dyikanova M.E. The effect of glaucanite sands concentrate on potato productivity / Ivashova O.N., Levshin A.G., Gasparyan I.N., Gasparyan Sh.V. // Potatoes and vegetables. 2020. No. 4. P. 33-36. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.44.51.006>
8. Levchenko M.L. Features of glaucanite from the Bondarskoye deposit in the Tambov region // Bulletin of the VSU. Series: Geology. 2008 No. 1. P. 65-69.
9. Levshin A.G. Practical recommendations / Gasparyan I.N., Dyikanova M.E., Kalilets A.A. et al. / Application of glaucanite sand in technologies of cultivation of environmentally friendly early potatoes. M.: MESKH, 2019.32p. ISBN: 978-5-6042797-9-38.

чистого картофеля раннего: практические рекомендации / А.Г. Левшин, И.Н. Гаспарян, М.Е. Дыйканова, А.А. Каплиец и др. М.: МЭСХ, 2019. 32 с.

10. **Пастухов С.А.** Новые сорта, пригодные к промышленной переработке и обладающие комплексной устойчивостью к болезням и абиотическим факторам / Петрова М.А., Гаспарян И.Н., Гаспарян Ш.В. // Проблемы развития АПК региона. 2023. № 4 (56). С. 80-87.

11. **Gasparyan I.N., Levshin A.G., Ivashova O.N., Deniskina N.F., Gasparyan Sh.V.** Features of the choice of potato (*solanum tuberosum*) varieties when growing two harvests in the temperate zone of Russia // Brazilian Journal of Biology. 2024. Т. 84. Pp. 1-9.

12. www.Climate-Energy.ru.

Об авторах

Ирина Николаевна Гаспарян, д-р с.-х. наук, доцент, главный научный сотрудник; Author ID: 362785; irina150170@yandex.ru

Наталья Федоровна Денискина, канд. с.-х. наук, доцент; Author ID: 767574; nategor@yandex.ru

Ольга Николаевна Ивашова, канд. с.-х. наук, доцент; Author ID: 705761; olga300377@yandex.ru

Шаген Вагенович Гаспарян, канд. с.-х. наук, доцент; Author ID: 756518; schagen2010@yandex.ru

Александр Григорьевич Левшин, д-р техн. наук, профессор; Author ID: 366502; alev200151@rambler.ru

About the authors

Irina N. Gasparyan, DSc (Agro), associate professor, chief researcher; Author ID: 362785; irina150170@yandex.ru

Natalya F. Deniskina, CSc (Agro), associate professor; Author ID: 767574; nategor@yandex.ru

Olga N. Ivashova, CSc (Agro), associate professor; Author ID: 705761; olga300377@yandex.ru

Shagen V. Gasparyan, CSc (Agro), Associate Professor; Author ID: 756518; schagen2010@yandex.ru

Alexander G. Levshin, DSc (Eng), professor; Author ID: 366502; alev200151@rambler.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Гаспарян И.Н., Денискина Н.Ф., Ивашова О.Н., Гаспарян Ш.В., Левшин А.Г. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Гаспарян И.Н., Денискина Н.Ф., Ивашова О.Н., Гаспарян Ш.В., Левшин А.Г. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.04.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

Gasparyan I.N., Deniskina N.F., Gasparyan Sh.V., Levshin A.G. carried out practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Gasparyan I.N., Deniskina N.F., Gasparyan Sh.V., Levshin A.G. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-71-79>

УДК 627.83:626.88



РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОМАТОВ МАРКИ ЭНКАМАТ А20 И ЭНКАМАТ 7225, ЗАПОЛНЕННЫХ ГРУНТОМ С ПОСЕВОМ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Н.В. Ханов , О.Н. Черных, С.Н. Щукин, Т.Ю. Жукова, Д.А. Алексеев

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

Аннотация. Цель исследований: определение коэффициента шероховатости противоэрозионного покрытия канала из геомата Энкамат А20, заполненного грунтом с травой сорта райграс высотой до 15 см. В статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение коэффициента шероховатости защитного покрытия русла водотока из материалов: геомат марки Энкамат А20 и Энкамат 7225, – заполненных грунтом с посевом многолетних трав. Рассмотрены особенности модельной установки для определения гидравлических характеристик противоэрозионного покрытия и описана методика их определения. Найдено среднее значение коэффициента шероховатости и даны рекомендации для использования подобного миксированного покрытия, состоящего из геомата, почвы и растений. Использование данного покрытия придает откосу грунтового сооружения, руслу и берегам водотока естественный вид без потери защитных свойств. Также благодаря посеву многолетних трав использование данного покрытия повышает экологические характеристики как всего гидротехнического сооружения, так и водного объекта в целом.

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

Ключевые слова: берегоукрепление, противоэрозионное покрытие, геомат, водная эрозия, защита, растительность

Формат цитирования: Ханов Н.В., Черных О.Н., Щукин С.Н., Жукова Т.Ю., Алексеев Д.А. Результаты гидравлических исследований геоматов марки Энкамат А20 и Энкамат 7225, заполненных грунтом с посевом многолетних трав // Природообустройство. 2024. № 5. С. 71-79. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-71-79>

Original article

RESULTS OF HYDRAULIC STUDIES OF ENKAMAT A20 AND ENKAMAT 7225 GEOMATS FILLED WITH SOIL WITH PERENNIAL GRASS SOWING

N.V. Khanov , O.N. Chernykh, S.N. Shchukin, T.Y. Zhukova, D.A. Alekseev

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

Abstract. The purpose of the research: to determine the roughness coefficient of the anti-erosion coating of the channel from the Encamate A20 geomat filled with soil with ryegrass grass up to 15 cm high. This article presents the results of experimental studies aimed at determining the roughness coefficient of the protective coating of a watercourse bed made of materials: geomat brand Enkamat A20 and Enkamat 7225, filled with soil with sowing of perennial grasses. The features of a model installation for determining the hydraulic characteristics of an anti-erosion coating are considered and the methodology for their determination is described. The average value of the roughness coefficient was found and recommendations were given for the use of such a mixed coating consisting of geomat, soil and plants. The use of this coating gives the slope of the soil structure, the bed and banks

of the watercourse a natural appearance without loss of protective properties. Also, thanks to the sowing of perennial grasses, the use of this coating improves the environmental characteristics of both the entire hydraulic structure and the water body as a whole.

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

Keywords: bank protection, anti-erosion coating, geomat, water erosion, protection, vegetation

Format of citation: Khanov N.V., Chernykh O.N., Shchukin S.N., Zhukova T.Y., Alekseev D.A. Results of hydraulic studies of Enkamat A20 and Enkamat 7225 geomats filled with soil with sowing of perennial grasses // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 5. P. 71-79. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-71-79>

Введение. Берегоукрепление включает в себя комплекс работ по укреплению и защите прибрежной линии природных и искусственных водоемов и водотоков от подмыва, обвала и эрозии берегового склона под воздействием течения и волн, а также размыва ливневыми потоками [1, 2]. Неконтролируемый поток воды может оказывать разрушительное воздействие на берега и русла естественных и искусственных водных объектов, что способствует появлению на них дефектов разной типологии, сдвигам, размывам, эрозии и вызывает другие негативные последствия. Поток воды может серьезно повредить подпорные и водопропускные сооружения, проходящие рядом дороги или строения, располагающиеся вдоль берега (рис. 1).

Поскольку основное назначение водопропускных, водоотводящих и природоохранных сооружений вместе с укреплением заключается в эффективной защите земляного основания различных элементов гидротехнических сооружений и береговых склонов, примыкающих к водному объекту, подвергающихся воздействию не только

паводковых вод в весенний период, но и дождевых вод в период пиковой интенсивности осадков, то для облегчения их стабильной эксплуатации и повышения надежности работы необходимо использовать современные конструктивные решения, позволяющие нормально эксплуатировать водохозяйственные объекты и при высоком уровне воды в водотоке или водоеме, и при больших скоростях течения в них. Выбор оптимального конструктивного решения при создании берегоукрепления водных объектов является задачей, при решении которой необходимо знать все расчетные параметры материала и работы конструкции противоэрозионной защиты. Предотвратить негативный результат воздействия воды на целостность русел и склонов водных объектов можно довольно эффективно путем инженерных решений с использованием геосинтетических материалов.

Одним из таких конструктивных средств, представляющих собой своеобразную альтернативу бетонным элементам, каменной наброске, габионным конструкциям и прочим креплениям,



Рис. 1. Повреждения откосов водных объектов:

- а – обрушение и эрозия неукрепленного откоса плотины на пруду № 4 в парке Покровское-Стрешнево, Москва, 2020 г.;
- б – деформации и разрушение откоса из железобетонных плит и берегов, укрепленных габионами р. Коломенки в центре г. Коломны, 2023 г. (фото авторов)

Fig. 1. Damages to the slopes of water bodies:

- a – collapse and erosion of the unfastened dam slope on pond No4 in Pokrovskoye-Streshnevo Park, Moscow, 2020;
- b – deformations and destruction of the slope made of reinforced concrete slabs and banks reinforced with gabions of the Kolomenka River in the center of the Kolomna to, 2023 (photo by the authors)

является геомат – трехмерный полиамидный мат с 95%-ной открытой поверхностью, изготовленный из хаотично расположенных полиамидных филаментов, соединенных между собой термическим способом. Геомат позволяет создать на защищаемом участке устойчивый растительный слой. Тип мата подбирается в каждом конкретном случае в зависимости от области применения. В данной работе использовались геомат марки Энкамат А20 и геомат марки Энкамат 7225 (рис. 2).

Энкамат А20 представляет стабильную объемно-волокнистую структуру с подложкой из полиамидных мононитей, заполненную горячей органоминеральной смесью (черный щебень размером не более 8 мм), смешанный в установке с битум-полимерным вяжущим. Энкамат 7225 – мат толщиной 20 мм, заполненный щебнем определенной фракции (примерно 5 мм) и пропитанный битумной эмульсией, что не влияет на его водопроницаемость и не препятствует росту растений. Геомат Энкамат А20 –тяжелый материал (вес составляет более 20 кг/м^2), что позволяет такому покрытию выдерживать большие гидравлические нагрузки под водой при отсутствии растительного слоя. В практике строительства этот рулонный геоматериал вкуче с каменным заполнителем хорошо зарекомендовал себя как противоэрозионное защитное сооружение при максимальной средней скорости течения потока до $3,5 \text{ м/с}$. В отдельных случаях геоматы могут быть достаточно эффективно использованы в качестве защиты от эрозии на берегах каналов и малых рек [3-5].

Для инженерно-технического обоснования применения различных типов геоматов необходимо проведение гидравлических исследований с учетом не только свойств самого геомата, но главным образом – его заполнителя для создания более прочной и экологичной миксированной конструкции.

Цель исследований: определение коэффициента шероховатости противоэрозионного покрытия канала из геомата Энкамат А20, заполненного грунтом с травой сорта райграс высотой до 15 см.

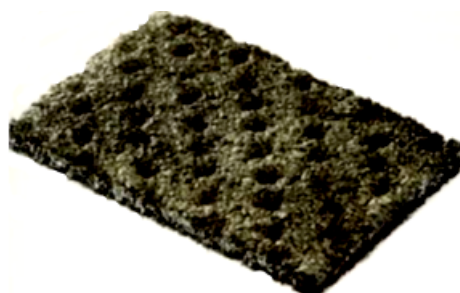
Материалы и методы исследований. Проведенные исследования были направлены на определение коэффициента шероховатости для покрытия материалом, состоящего из геомата Энкамат А20 и Энкамат 7225, заполненного грунтом с посевом многолетних трав сортом райграс [8]. Исследование коэффициента шероховатости проводилось на экспериментальной установке с трапециевидальным сечением лотка

с переменным уклоном длиной 8 м, представленной на рисунке 3 [2, 9, 10].

Изучение влияния на коэффициент шероховатости n геомата с травой сорта райграс марки Энкамат А20 выполнялось на участке длиной 2 м, а Энкамат 7225 – с заполнением каменным материалом, укрепленного пророщенной травой того же сорта [6, 7], на участке длиной 2,5 м. Опыты были проведены при уклоне $i = 0,00365$ и расходах



а



б

Рис. 2. Типы противоэрозионных геоматов, используемых в экспериментах:

а – Энкамат 7225; б – Энкамат А20

Fig. 2. Types of anti-erosion geomats used in experiments:

а – Enkammat 7225; б – Enkammat A20



Рис. 3. Общий вид опытной установки с моделью транзитной части канала трапециевидального сечения:

с вертикальным правым ($m = 0$)

и наклонным левым ($m = 1$) откосами

Fig. 3. General view of the pilot plant with a model of the transit part of the channel of a trapezoidal cross-section:

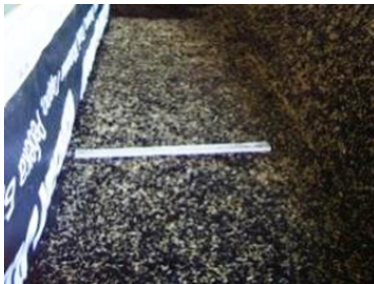
with vertical right ($m = 0$) and inclined left ($m = 1$) slopes

$Q=48,4; 84,3$ и $132,7$ л/с при уклоне $i=0,0073$ и расходах $Q=48,4; 84,3$ л/с соответственно.

Для проведения исследований было выбрано трапециевидальное сечение с вертикальным $m=0$ правым и наклонным $m=1$ левым бортами, которое соответствовало половине реального трапециевидального сечения. Сначала был уложен гумусный растительный грунт на дно и левый откос лотка толщиной ~ 14 мм (рис. 4а).



а



б

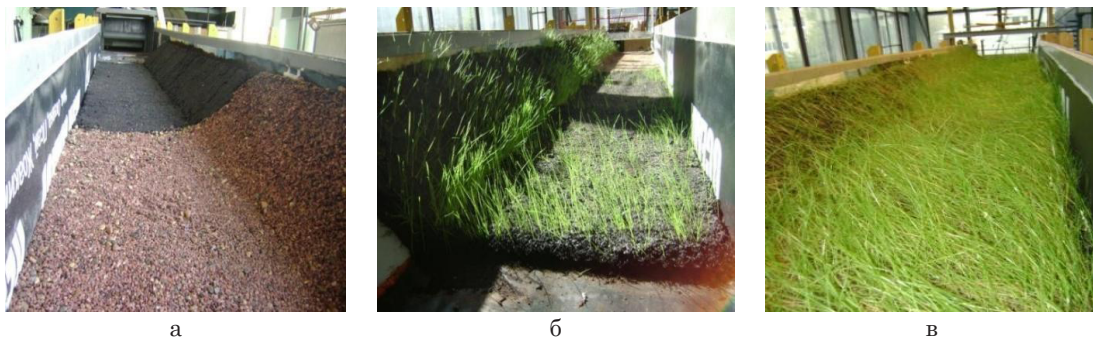
Рис. 4. Участки экспериментальной установки с гумусным растительным грунтом, уложенным на дно, и левый откос лотка (а) с высевом семян травы сорта Райграсс (б)

Fig. 4. Plots of the experimental plant with humus vegetation soil laid on the bottom and left slope of the flume (a) with sowing of grass seeds of the Ryegrass variety (b)

На левый борт канала для лучшего сцепления грунта с пластиковым модельным откосом была уложена стальная сетка из проволоки сечением 1 мм и с ячейками 1×1 см. Затем для исключения сползания грунта вниз уложенный слой грунта увлажнялся: дно – лейкой, а откос – пульверизатором. Вертикальная стенка лотка ввиду невозможности засева травы без соответствующих конструктивных дополнений не покрывалась исследуемым материалом и оставалась гладкой. Высев семян сорта травы райграсс на гумусный слой выполнялся из расчета 100 г на 1 м^2 , после чего семена были увлажнены при помощи мелкодисперсного пульверизатора. Затем семена были закрыты слоем грунта толщиной 7...8 мм с укаткой, далее вся засеянная площадь была увлажнена в щадящем режиме (рис. 4б).

На первом рабочем участке длиной 2,5 м дно и левый откос были закрыты материалом Энкамат А20, а на втором рабочем участке длиной 2,8 м дно и левый борт были накрыты армирующей сеткой Энкамат 7225, ячейки которой были заполнены мелким щебнем (рис. 5а). Правый вертикальный борт был обшит по всей длине лотка баннерной тканью. Таким образом, общая длина обоих участков составляла 5,3 м, а засеянная площадь – $4,5 \text{ м}^2$. Начальный (1...1,2 м) и конечный (1...1,2 м) участки канала по периметру сечения были закрыты армирующей сеткой для создания идентичных условий движения жидкости. Поверхность русловой части модели водотока засаживалась травой сорта райграсс, подобранного по результатам специальных предварительных этапов исследований [6-8].

В соответствии с рекомендациями на установке поддерживался агротехнический режим в течение всего вегетационного периода (приблизительно 1,5 месяца) до образования устойчивого



а

б

в

Рис. 5. Состояние поверхности защитного крепления из исследуемых материалов на модели канала:

а – крепление из Энкамат А20 и Энкамат 7225; б – через 10 дней после посадки травы сорта Райграсс; в – защитное крепление через 1,5 месяца

Fig. 5. Condition of the surface of the protective fastening made of the materials under study on the channel model: а – fastening made of Enkamat A20 and Enkamat 7225; б – 10 days after Ryegrass grass planting; в – protective fastening after 1.5 months

растительного покрова высотой ~15 см. На рисунке 5б показано состояние поверхности исследуемых материалов с травой сорта райграс через 10 дней, а на рисунке 5в – через 1,5 месяца.

Результаты и их обсуждение. Было выполнено измерение кинематических характеристик потока в 3-мерных створах по длине контрольного участка: на границах участков, покрытых Энкамат А20 и Энкамат 7225, и в сечениях между ними, расположенных на расстоянии $x = 202, 402$ и 652 см. Для определения гидравлических сопротивлений материала Энкамат А20 с травой сорта райграс использовались кинематические показатели потока в сечениях на расстоянии $x = 202$ и 402 см, а для материала Энкамат 7225 – $x = 402$ и 652 см. В каждом сечении измерение скоростей проводилось на 10...11 вертикалях в 6...7 точках по высоте, а на откосе их количество уменьшалось. Общее число точек

замера скоростей составило 60 и 77 соответственно. Замеры скоростей были выполнены трубкой Пито диаметром 2 мм (рис. 6), глубины потока – шпигценмасштабом [10-12]. Для определения коэффициента Кориолиса α изучалась кинематика потока по всему поперечному сечению.

Далее на мерных вертикалях в створах строились эпюры скоростей потока, представленные на рисунке 7.

Исследования выполнялись при равномерном установившемся движении воды с использованием формулы Шези (1) [11-15]:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot J}, \quad (1)$$

где $R = \frac{\omega}{\chi}$ – гидравлический радиус; ω – площадь живого сечения потока; χ – смоченный периметр потока в рассматриваемом поперечном сечении; $J = \frac{H_i - H_{i+1}}{l}$ – гидравлический уклон дна канала; l – длина контакта воды с руслом в рассматриваемом сечении канала; C – коэффициент Шези.

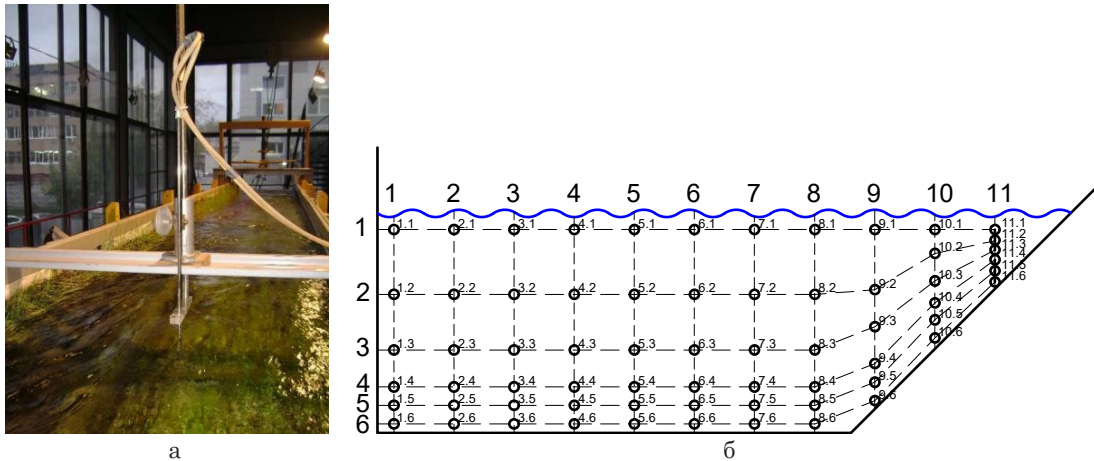


Рис. 6. Измерение на модели скоростей потока по мерным вертикалям: а – установка трубки Пито в мерном створе; б – схема определения местных скоростей

Fig. 6. Measurement of flow velocities along dimensional verticals on the model: а – installation of the Pitot tube in the dimensional cross-section; б – scheme for determining local velocities

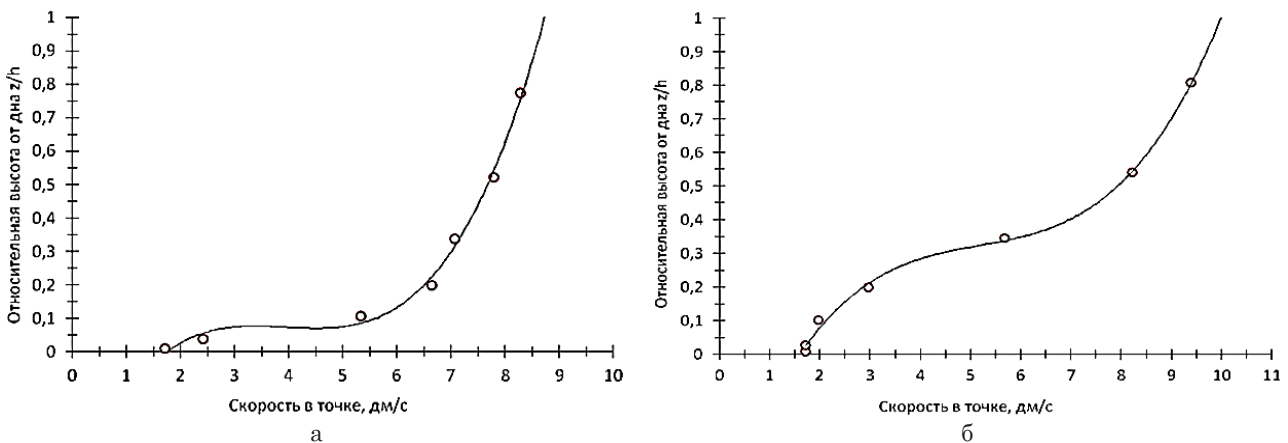


Рис. 7. Примеры эпюр скоростей потока на мерных вертикалях при $i = 0,00365$:

а – $Q = 84,3$ л/с, $x = 202$ мм, $y = 370$ мм; б – $Q = 132,7$ л/с, $x = 402$ мм, $y = 90$ мм

Fig. 7. Examples of flow velocity diagrams on dimensional verticals at $i = 0,00365$:

а – $Q = 84.3$ l/s, $x = 202$ mm, $y = 370$ mm; б – $Q = 132.7$ l/s, $x = 402$ mm, $y = 90$ mm

Для нахождения последнего обычно применяют симбиоз эмпирических формул Маннинга, Гангилье-Куттера и Н.Н. Павловского [9]. Поскольку в экспериментах по определению коэффициента шероховатости n для покрытия материалом Энкамат А20 и Энкамат 7225 экспериментальная установка имела правую вертикальную стенку, обшитую баннерной тканью ($n_{пл} = 0,009$), ее практически невозможно было выполнить с засевом травы. Поэтому коэффициент шероховатости n_n исследуемого композитного покрытия оценивался по формуле (2) [9]:

$$n_n = \frac{n_{cp} \cdot b + n_{cp} (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{cp} - n_{пл} \cdot h_{cp}}{b + \sqrt{m^2 + 1} \cdot h_{cp}}; \quad (2)$$

где
$$n_{cp} = \frac{n_n \cdot \chi_n + n_{пл} \cdot \chi_{пл}}{b + (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{cp}}. \quad (3)$$

Результаты расчетов коэффициента шероховатости композитного защитного покрытия, засеянного травой, на основании обработки экспериментальных данных, n , представлены в таблице 1.

Поскольку исследования проводились в установке, где одна из стенок лотка была обшита баннерной тканью, то значения коэффициентов шероховатости n в таблице 1 дают представление о средневзвешенном значении коэффициента шероховатости. Для определения истинного значения коэффициента шероховатости данные значения, как отмечено выше, пересчитывались по формуле (2). В расчетах коэффициента шероховатости n_n коэффициент шероховатости n_6 принят равным $n_6 = 0,012$, как для бетона хорошего качества [12, 14]. С учетом этого значения коэффициента шероховатости n_6 данные таблицы 1, пересчитанные в значения коэффициентов шероховатости n_n для покрытия Энкамат А20 и Энкамат 7225, приведены в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, травяной покров значительно увеличивает гидравлические сопротивления [16, 17]. Средние значения коэффициента шероховатости, полученные из зависимостей Гангилье-Куттера, практически совпадают со значениями, полученными при использовании формулы Н.Н. Павловского [11]. Для покрытия

Таблица 1. Результаты расчётов коэффициента шероховатости n

Table 1. Results of calculations of the roughness coefficient n

Условия эксперимента Conditions of the experiment	h	Гангилье-Куттер Ganguillier-Cutter		Маннинг Manning		Павловский Н.Н. Pavlovsky N.N.	
		n_{1-2}	n_{2-3}	n_{1-2}	n_{2-3}	n_{1-2}	n_{2-3}
$Q_V = 48,4$ л/с, $i = 0,00365$	1.68	0,0203	0,0259	0,0231	0,0315	0,0206	0,0258
$Q_V = 84,3$ л/с, $i = 0,00365$	2.16	0,0257	0,0231	0,0304	0,0268	0,0254	0,0231
$Q_V = 132,7$ л/с, $i = 0,00365$	2.48	0,0211	*	0,0235	*	0,0211	*
$Q_V = 48,4$ л/с, $i = 0,0073$	1.43	0,0245	0,0242	0,0297	0,0292	0,0246	0,0243
$Q_V = 84,3$ л/с, $i = 0,0073$	1.95	0,0206	0,0221	0,0233	0,0254	0,0208	0,0222
N_{cp} / N_{av}		0,0224	0,0238	0,026	0,0282	0,0225	0,0239

* – в процессе экспериментов произошло оползание щебня с откоса, в результате чего условия эксперимента изменились и эти данные не приводятся.

* – in the process of experiments, crushed stone slid down from the slope, as a result of which the conditions of the experiment changed and these data are not given.

Таблица 2. Результаты пересчёта коэффициента шероховатости n покрытия Энкамат А20 и Энкамат 7225

Table 2. Results of recalculation of roughness coefficient n of coating of Enkammat A20 and Enkammat 7225

Условия эксперимента Conditions of the experiment	H_{cp} , дм N_{av} dm	Гангилье-Куттер Ganguillier-Cutter		Маннинг Manning		Павловский Н.Н. Pavlovsky N.N.	
		Энкамат А20 Enkammat A20	Энкамат 7225 Enkammat 7225	Энкамат А20 Enkammat A20	Энкамат 7225 Enkammat 7225	Энкамат А20 Enkammat A20	Энкамат 7225 Enkammat 7225
		$Q_V = 48,4$ л/с, $i = 0,00365$	1.68	0,0222	0,0290	0,0256	0,0358
$Q_V = 84,3$ л/с, $i = 0,00365$	2.16	0,0293	0,0261	0,0352	0,0307	0,0290	0,0261
$Q_V = 132,7$ л/с, $i = 0,00365$	2.48	0,0237	0,0000	0,0268	0,0000	0,0238	0,0000
$Q_V = 48,4$ л/с, $i = 0,0073$	1.43	0,0270	0,0266	0,0333	0,0326	0,0271	0,0268
$Q_V = 84,3$ л/с, $i = 0,0073$	1.95	0,0228	0,0246	0,0260	0,0287	0,0230	0,0247
N_{cp} / N_{av}		0,0250	0,0266	0,0294	0,0320	0,0251	0,0266

из материала Энкамат А20 средние значения коэффициента шероховатости окончательно составляют $n = 0,025$, а для покрытия из материала Энкамат 7225 $n = 0,0266$. При этом средние значения коэффициента шероховатости, полученные из зависимости Маннинга, имеют большие значения: $n = 0,0294$ и $n = 0,032$ соответственно, что примерно на 20% выше.

После проведения опытов были сделаны разрезы материала покрытия – геомата марки Энкамат А20 и Энкамат 7225 с травяным покровом и растительным грунтом (рис. 8, 9).

Визуальный анализ разрезов показал, что каких-либо деформаций уложенного

гумусного растительного грунта после серии проведенных экспериментов под обоими покрытиями миксированного крепления и основания под ним обнаружено не было. Очевидно, корни использованной сезонной травы послужили армирующим материалом грунта и препятствовали его эрозии. Тесты по определению прочности удержания травяного покрова позволили установить значительную стойкость против выдергивания, что говорит о достаточной стойкости травяного покрова против выдергивания влекущими силами гидравлического сопротивления воды.



Рис. 8. Состояние покрытия из геомата марки Энкамат А20 с травяным покровом по растительному грунту после проведения серии исследованных гидравлических режимов в экспериментальном лотке

Fig. 8. Condition of the Enkammat A20 geomat coating with grass cover on the vegetative soil after a series of studied hydraulic modes in the experimental flume



Рис. 9. Состояние покрытия Энкамат 7225, заполненного каменным материалом с пророщенной травой сорта Райграс и растительным грунтом по окончании первой серии экспериментов

Fig. 9. Condition of the Enkammat 7225 pavement filled with stone material, with sprouted ryegrass and vegetable soil at the end of the first series of experiments

Выводы

Исследования по оценке коэффициента шероховатости для противоэрозионного защитного покрытия, состоящего из геомата марки Энкамат А20 с травяным покровом сорта райграс и растительным грунтом, как и покрытия Энкамат 7225, заполненного каменным материалом, с пророщенной травой и растительным грунтом, опытным путем показали на практике возможность применения миксированного инновационного крепления.

Несмотря на то, что покрытие ложа канала из материала Энкамат 7225 незначительно уступает покрытию из материала Энкамат А20 (заполнитель из гранитной крошки с диаметром зерен 3...5 мм смывается с откосов уже при средней скорости потока порядка 1 м/с), засев покрытия травой в зонах с густым покровом частично увеличивает стойкость против смыва гранитной крошки, выдерживая при этом скорость до 1,5 м/с, в целом повышая устойчивость всего композиционного покрытия. Гранитная

крошка материала Энкамат 7225 создает большее гидравлическое сопротивление, чем то, что имеет материал Энкамат А20.

На основании анализа проведенных экспериментов по изучению трансформации коэффициента n для гидравлических расчетов каналов с растительностью сорта райграс можно рекомендовать использовать: с покрытием из Энкамата А20, пророщенного травой сорта райграс, значение коэффициента $n = 0,0294$, а с покрытием

из Энкамат 7225, заполненного каменным материалом, укрепленным пророщенной травой сорта райграс, значение $n = 0,032$, полученных по формуле Маннинга.

Разрезы защитных покрытий из материала Энкамат А20 и Энкамат 7225 в совокупности с травяным покровом и гумусным слоем, размещенного под ними, выполненные после проведения гидравлических исследований, показали их отличную сохранность.

Список использованных источников

1. Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 185 с.
2. Гурьев А.П. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / А.П. Гурьев, Н.В. Ханов, А.В. Еремеев, К.Д. Козлов, В.А. Фартуков, С.Н. Щукин. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 253 с.
3. Ханов Н.В., Еремеев А.В. Обзор применения современных геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве // Сборник материалов Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. С. 336-339.
4. Хомченко Ю.В. Устойчивость откосов и склонов, укрепленных геотекстильными материалами // Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 16. С. 54-59.
5. CUR, Geotextielen in de waterbouw, publikatie 174, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, 1995.
6. Жукова Т.Ю. Современное и инженерно-экологическое противозерозионное покрытие, состоящее из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав // Аграрная наука-2022: сборник материалов Всероссийской конференции молодых исследователей. М.: РГАУ-МСХА, 2022. С. 8-11.
7. Жукова Т.Ю. Современные тенденции развития и перспективы внедрения геосинтетических материалов // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова: сборник статей. М.: РГАУ-МСХА, 2022. С. 69-73.
8. Zhukova T.Y., Eremeev A.V., Khanov N.V. and Bobur Shodiev. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses // E3S Web Conferences, 2023. 365, 04034.
9. Козлов К.Д., Гурьев А.П., Ханов Н.В. Гидравлические исследования покрытия из геокompозитного материала // Природообустройство. 2014. № 5. С. 80-86.
10. Козлов К.Д., Модельные гидравлические исследования для определения коэффициента шероховатости материала Энкамат А20 / Гурьев А.П., Козлов Д.В., Ханов Н.В. // Научная жизнь. 2016. № 1. С. 6-12.
11. Козыр И.Е., Пикалова И.Ф., Ханов Н.В. Практикум по гидравлике: учебно-методическое пособие. СПб.: Лань, 2016. 176 с.
12. Зуйков А.Л., Волгина Л.В. Гидравлика: учебник для вузов: В 2 т. Т. 2. Напорный и открытые потоки. Гидравлика сооружений. М.: Изд-во МГСУ, 2015. 424 с.

References

1. Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V. Bank protection structures of water bodies, part 2. M.: RGAU-MSHA, 2020. 185 p.
2. Guryev A.P. The use of composite geomats to combat water erosion / Guryev A.P., Khanov N.V., Eremeev A.V., Kozlov K.D., Fartukov V.A., Shchukin S.N. / M.: RGAU-MSHA, 2020. 253 p.
3. Khanov N.V. Review of the use of modern geosynthetic materials in hydraulic engineering construction / N.V. Khanov, A.V. Eremeev // In the collection: International scientific conference of young scientists and specialists, dedicated to the 150th anniversary of the Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev Collection of articles. M.: Publishing house RGAU-MSHA. 2015. P. 336-339.
4. Khomchenko Yu.V. Stability of slopes and slopes reinforced with geotextile materials/Yu.V. Khomchenko // Bulletin of Polotsk State University. 2014. No. 16 P. 54-59.
5. CUR, Geotextielen in de waterbouw, publikatie 174, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, 1995.
6. Zhukova T.Yu. Modern and engineering-ecological anti-erosion coating consisting of a geomat filled with soil with sowing of perennial grasses / T.Yu. Zhukova // In the collection: Agricultural Science – 2022. Materials of the All-Russian Conference of Young Researchers. 2022. P. 8-11
7. Zhukova T.Yu. Modern development trends and prospects for the introduction of geosynthetic materials // Materials of the international scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 135th anniversary of the birth of A.N. Kostyakova. Sat. articles. M.: Publishing house RGAU-MSHA. 2022. P. 69-73.
8. Zhukova T.Y., Eremeev A.V., Khanov N.V. and Bobur Shodiev. Study of the possibility of application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses. E3S Web Conferences, 2023,365,04034.
9. Kozlov K.D., Guryev A.P., Khanov N.V. Hydraulic studies of geocomposite material coating. // Prirodoobustroystvo. 2014. No. 5. P. 80-86.
10. Kozlov K.D. Model hydraulic studies to determine the roughness coefficient of the material Enkammat A20 / K.D. Kozlov, A.P. Guryev, D.V. Kozlov, N.V. Khanov // Scientific life. 2016. No. 1. P. 6-12.
11. Kozyr I.E., Pikalova I.F., Khanov N.V. Workshop on hydraulics. Educational and methodological manual. St. Petersburg, "Lan", 2016. 176 p.
12. Zuykov A.L., Volgina L.V. Hydraulics: textbook for universities: in 2 volumes. Volume 2: Pressure and open

13. **Чоу В.Т.** Гидравлика открытых каналов. М.: Литература по строительству, 1969. 462 с.

14. **Косиченко Ю.М., Турянская Н.И.** Влияние случайного характера распределения водной растительности на коэффициент шероховатости русел малых водотоков // Мелиорация антропогенных ландшафтов: сборник научных трудов НГМА. Новочеркасск, 1997. С. 40-48

15. **Khatsuria R.M.** Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. New York: Marcel Dekker, 2005. 649 p.

16. **Schippers W.** and Pon K. Grondsoort, vegetatie en erosiebestendigheid, Landbouuniversiteit. Wageningen, 1983.

17. **Hewlett H.W.M., Boorman L.A.** and Bramley M.E. Design of reinforced grass waterways, Report 116, CIRIA. London, 1987.

flows. Hydraulics of structures. M.: Publishing house MGSU, 2015. 424 p.

13. **Chow V.T.** Hydraulics of open channels / V.T. Chow. Moscow: Publishing house "Literature on construction", 1969. 462 p.

14. **Kosichenko Yu.M.** The influence of the random nature of the distribution of aquatic vegetation on the roughness coefficient of small watercourses / Yu.M. Kosichenko, N.I. Turyanskaya // Reclamation of anthropogenic landscapes, 1997. P. 40-48.

15. **Khatsuria R.M.** Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators / R.M. Khatsuria – New York: Marcel Dekker, 2005. 649 p.

16. **Schippers W.** and K. Pon, Grondsoort, vegetatie en erosiebestendigheid, Landbouuniversiteit, Wageningen, 1983.

17. **Hewlett H.W.M., Boorman L.A.** and M.E. Bramley, Design of reinforced grass waterways, Report 116, CIRIA, London, 1987.

Об авторах

Нартмир Владимирович Ханов, д-р техн. наук, профессор, зав кафедрой ГТС; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Ольга Николаевна Черных, канд. техн. наук, доцент, WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Шукин, канд. техн. наук, директор, ООО Восток Геосинтетикс 89031025452@mail.ru

Татьяна Юрьевна Жукова, ассистент; WoS ResearcherID: RIDAAE – 5204-2022; Scopus AuthorID: 57433774600; ORCID:0000-0002-9654-3039; SPIN-код: 5357-4597; AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru

Даниил Андреевич Алексеев, ассистент; ORCID: 0009-0009-1890-3471; SPIN-код: 8085-3065; daniil.alekseev@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ханов Н.В., Черных О.Н., Шукин С.Н., Жукова Т.Ю., Алексеев Д.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / The article was submitted to the editorial office 18.03.2024

Поступила после рецензирования / Approved after reviewing 21.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 25.10.2024

About the authors

Nartmir V. Khanov, DSc (Eng), professor, professor, head of the HTS department; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-code: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Olga N. Chernykh, DSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-code: 7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Sergey N. Shchukin, CSc (Eng), Director, Vostok Geosynthetics LLC, 89031025452@mail.ru

Tatyana Yu. Zhukova, assistant; WoS ResearcherID: RIDAAE – 5204-2022; Scopus AuthorID: 57433774600; ORCID: 0000-0002-9654-3039; SPIN-code: 5357-4597; AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru

Daniil A. Alekseev, assistant; ORCID:0009-0009-1890-3471; SPIN-code:8085-3065; daniil.alekseev@rgau-msha.ru

Khanov N.V., Chernykh O.N., Shchukin S.N., Zhukova T.Y., Alekseev D.A., carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Khanov N.V., Chernykh O.N., Shchukin S.N., Zhukova T.Y., Alekseev D.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-80-87>

УДК 532.54:626.8



ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПЛИТЫ КРЕПЛЕНИЯ ВОДОБОЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

О.Н. Черных^{1✉}, А.В. Бурлаченко², Я.Ю. Бурлаченко¹¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after С.А. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskayast., 49, Russia²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64, Russia

Аннотация. Приводятся результаты экспериментальных исследований распределения осредненных и пульсационных нагрузок на плиты крепления расширяющегося водобоя и рисбермы, замеренные с помощью точечных датчиков и датчиков суммарной нагрузки при наличии на дне трех рядов гасителей энергии потока за малопролетным трубчатым водосбросом. Изложены соображения об использовании полученных данных для уточнения гидравлических и гидротехнических расчетов трехочковых водопропускных сооружений при их проектировании, ремонте и реновации. Изучено изменение перепадов осредненного давления, стандартов пульсации давления, суммарной гидродинамической нагрузки и амплитудно-частотных характеристик потока на элементах крепления нижнего бьефа Шамкирского гидроузла мелиоративного назначения, реконструируемого на реке Кура в Азербайджане. Установлено, что для обеспечения надежности водосбросных сооружений определение суммарных нагрузок и построение квазистатического нагружения крепления нижнего бьефа, выбор его рациональной конструкции и оптимизацию режимов эксплуатации можно проводить, вкупе используя известные рекомендации и объективно разработанную научную методологию, внося коррективы по результатам модельных исследований.

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

Ключевые слова: малоочковый водосброс, плиты крепления, водобой, пульсация давления, гидродинамические нагрузки, устойчивость

Формат цитирования: Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Оценка гидродинамических нагрузок на плиты крепления водобоя мелиоративных гидроузлов // Природообустройство. 2024. № 5. С. 80-87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-80-87>

Scientific article

ASSESSMENT OF HYDRODYNAMIC LOADS ON THE SLABS OF THE CULVERT FASTENING OF RECLAMATION WATERWORKS

O.N. Chernykh^{1✉}, A.V. Burlachenko², Ya.Yu. Burlachenko¹¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after С.А. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskayast., 49, Russia²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64, Russia

Abstract. The results of experimental studies of the distribution of averaged and pulsating loads on the fastening slabs of an expanding culvert and apron, measured using point sensors and total load sensors in the presence of three rows of flow energy absorbers at the bottom behind a short-span tubular spillway, are presented. Considerations are presented on the use of the obtained data to clarify the hydraulic and hydraulic engineering calculations of three-point culvert structures during their design, repair and renovation. The change in average pressure differences, pressure pulsation standards, total hydrodynamic load and amplitude-frequency characteristics of the flow on the fastening downstream elements of the Shamkir hydroelectric complex for reclamation purposes, reconstructed on the Kura River in Azerbaijan, has been studied. It has been established that to ensure the reliability of spillway structures, the determination of total loads and the construction of a quasi-static loading of the downstream fastening, the choice of its rational design and the optimization of operating modes can be carried out, together with the use of known recommendations and objectively developed scientific methodology, making adjustments based on the results of model studies.

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

Keywords: low-point spillway, fastening slabs, culvert, pressure pulsation, hydrodynamic loads, stability

Format of citation: Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. Assessment of hydrodynamic loads on the slabs of the culvert fastening of reclamation waterworks // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 80-87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-80-87>

Введение. Разрушения на мелиоративных гидроузлах по причине отказа водосбросного сооружения составляют более 30% [1, 2]. Своевременный ремонт и реконструкция гидротехнических сооружений (ГТС) существенно снижают риск аварии на гидроузле и ее последствий [3]. При этом необходимо принимать к сведению то, что многие вопросы гидравлики и гидродинамики нижнего бьефа водосбросных ГТС были исследованы или учтены при проектировании недостаточно полно [4]. Это и явилось одной из причин того, что некоторые водосбросные сооружения сразу после пуска работали неудовлетворительно и, не достигая положенного срока эксплуатации, выходили из строя или требовали значительного ремонта [5]. В настоящее время основная деятельность гидротехников сосредоточена на усовершенствовании уже существующих гидроузлов: реконструкции, модернизации и оптимизации функционирования элементов всех ГТС. Работа направлена, в том числе, на то, чтобы иметь корректно запроектированные и качественно выполненные устройства нижнего бьефа (элементов водобоя, рисбермы, концевых устройства и пр.), обеспечивающие благоприятный режим сопряжения бьефов, не подвергающихся недопустимым разрушениям при волновом динамическом воздействии, не допускающих сбойных течений и опасных размывов в отводящем канале [1, 6].

Шамкирский гидроузел комплексного назначения (1975-1982 гг.) расположен на р. Куре в Азербайджане и входит в каскад Курейских ГЭС. Это вторая по величине ГЭС на северо-западе Азербайджана со среднегодовой выработкой электроэнергии 810 млн квт·ч. Водохранилище обеспечивает поливной водой 46000 га земель. В состав гидроузла входят: грунтовые плотины; строительно-эксплуатационный водосброс; здание ГЭС с водоприемником и двумя турбинами мощностью 380 мвт при расчетном напоре 58 м; ирригационный водозабор (рис. 1). Руслловая земляная плотина с наклонным ядром из суглинки имеет длину по гребню 1800 м и наибольшую высоту 70 м. Пойменная плотина с суглинистым экраном имеет высоту 40 м и длину по гребню 1700 м. Водосброс, расположенный

в теле руслловой плотины, включает в себя: входной оголовок с тремя пролетами; донные трубы-галереи длиной по 160 м; выходной оголовок с гасителями; отводящий канал. Транзитный тракт водосброса разделяется двумя быками толщиной 1,5 м на три галереи шириной 8,3 м каждая.

Материалы и методы исследований. Начиная с 2003 г. Шамкирский гидроузел находился в аварийном состоянии. Ввиду коррозии бетона, появления больших трещин, разрушения защитного слоя бетона трехочкового подземного водовода, обнажения арматуры, разрушения бетонного крепления водобойного участка и размывов за рисбермой, сильной утечки воды через бетон и контактные сечения в определенный момент могла возникнуть чрезвычайная ситуация на гидроузле. В аварийном состоянии находились и грунтовые подпорные сооружения. В связи с этим с 2021 г. были начаты работы по ремонту и реновации основных ГТС Шамкирского гидроузла (рис. 2). Одновременно планировалось провести и ремонтно-восстановительные работы на гидроагрегатах Шамкирской ГЭС.

Модельная установка для оценки гидродинамических нагрузок на элементы крепления нижнего бьефа гидроузла была выполнена из камня и дерева в линейном масштабе 1:50 применительно к условиям трехпролетного водосброса с параметрами: максимальный расход $Q = 2980 \text{ м}^3/\text{с}$; напор относительно выходного сечения трубы $H = 4,92d_1$, где $d_1 = 12 \text{ м}$ – высота прямоугольной галереи; перепад $p = 1,33d_1$; относительная удельная энергия потока, выходящего из труб $(\mathcal{E}_1 + p)/h_1 = 7,2...9,6$; $\mathcal{E}_1 = h_1 + v_1^2/2g$; h_1 и v_1 – глубина и скорость на выходе из галереи; $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; глубина в отводящем канале $h_2 = (0,63...1,08) d_1$; подтопление выходного сечения $n = (h_1 - p)/h_2 = 1,9...2,7$ [1, 7]. Моделирование осуществлялось по критерию гравитационного подобия. При этом на модели обеспечивались числа Рейнольдса, находящиеся в автомодельной зоне ($Re = 20000...75000$). Система гашения состояла из трех рядов зубчатых порогов на расширяющемся водобойном колодце с углом $\alpha = 24^\circ$ (рис. 3). За последним рядом гасителей ось сооружения

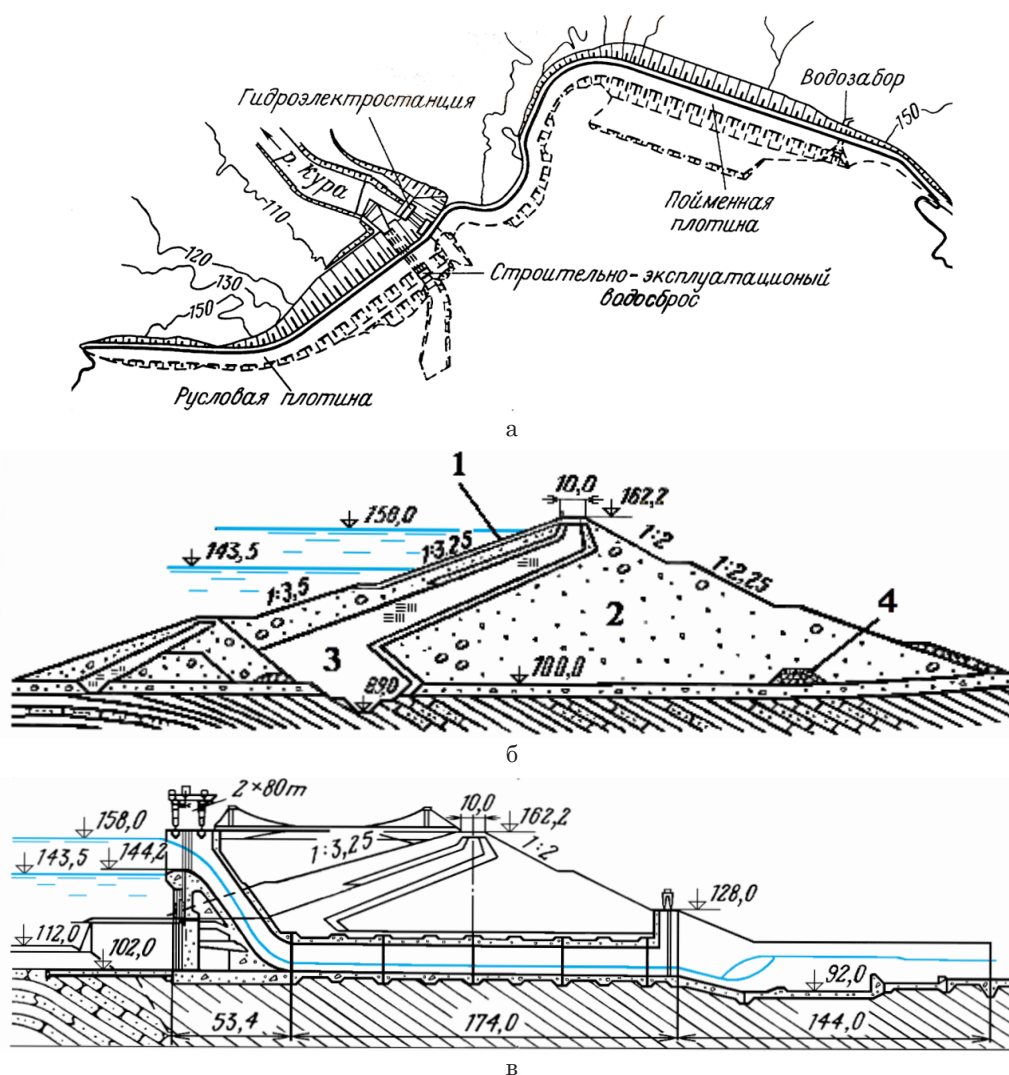


Рис. 1. Основные сооружения Шамкирского гидроузла:

а – план; б – русловая и пойменная земляные плотины; 1 – железобетонное крепление плитами; 2 – тело из гравийно-галечного грунта; 3 – наклонное ядро из суглинка; 4 – дренажная призма; в – эксплуатационный водосброс

Fig. 1. Main structures of the Shamkir hydroelectric complex:

а – plan; б – channel and floodplain earthen dams; 1 – reinforced concrete fastening with slabs; 2 – body made of gravel and pebble soil; 3 – inclined loam core; 4 – drainage prism; c – operational spillway



Рис. 2. Вид со стороны нижнего бьефа на начальные этапы работ по реновации водобойного участка водосброса, 2021 г. (фото Azerenerji OSC)

Fig. 2. View from the downstream side of the initial stages of work on the renovation of the culvert spillway section, 2021 (photo by Azerenerji OSC)

поворачивала на $32^{\circ}47'$. Особенности участка сопряжения: высокое число Фруда в сжатом сечении (до 15...60); расширяющийся в плане водобойный колодец; гасители специального типа; поворот отводящего канала; возможность возникновения пространственного прыжка и др. – затруднили использование аналогов для расчета квазистатической устойчивости элементов крепления.

Программа гидродинамических исследований предусматривала проведение экспериментов по определению нагрузок на плиты водобоя и рисбермы, оценку их устойчивости, оптимизацию толщины и конструкции плит крепления. Во время экспериментов статическая составляющая давления на элементы крепления определялась пьезометрированием, осредненные скорости – микровертушкой и трубкой Пито. Пульсационная составляющая давления измерялась 20 точечными индуктивными датчиками давления с приемной мембраной диаметром 6 мм и частотой собственных колебаний 2 кГц. Суммарное гидродинамическое давление, в том числе на фрагменты зубчатых гасителей, регистрировалось с помощью площадочной плиты-датчика консольного типа, позволяющей фиксировать продольную и вертикальную нагрузку, имеющей частоту собственных колебаний в воде 40...60 Гц [1].

Для динамических исследований были выбраны 3 режима работы сооружения: 1 – пропуск максимального расчетного расхода – $Q = 2980 \text{ м}^3/\text{с}$ тремя полностью открытыми пролетами, $(\mathcal{E}_1 + p)/h_1 = 9,6$, $n = 2,7$; 2 – при открытом только крайнем левом пролете и $Q = 790 \text{ м}^3/\text{с}$, $(\mathcal{E}_1 + p)/h_1 = 7,2$ и $n = 2,9$; 3 – пропуск расхода $Q = 790 \text{ м}^3/\text{с}$ только через один средний,

полностью открытый пролет, $(\mathcal{E}_1 + p)/h_1 = 7,2$, $n = 2,9$. Осредненное давление на плиты крепления сверху для каждого гидравлического режима определялось высотой пьезометрической линии над отметкой дна водобоя и рисбермы.

Результаты и их обсуждение. Для выбора оптимальной конструкции и толщины железобетонного крепления (в том числе с учетом нагрузки в его подплитной полости, наличия и месторасположения дренажных колодцев) по современным методологиям [8-10] внешнее воздействие потока на плиту $\tilde{P}(t)$ задается осредненной нагрузкой на плиту сверху $\langle \tilde{P}(t) \rangle = P$:

$$\tilde{P}(t) = \langle \tilde{P}(t) \rangle = P(t), \quad (1)$$

где в стационарном режиме представляют пульсационное давление $P(t)$ в виде функции спектральной плотности $S_p(\omega)$, определяемой экспериментальным либо теоретическим путем [9].

В результате экспериментов был выявлен ряд закономерностей в распределении осредненного \bar{P}_i и пульсационного составляющих давления $P(t) = P_i$ в отдельных точках по площади крепления водобоя и рисбермы. Так, осредненное давление вдоль крепления выходного раструбного оголовка изменяется наиболее резко, когда работают при пропуске максимального расхода все три отверстия водосброса Шамкирского гидроузла (режим 1). Первый гаситель, состоящий из прилива трамплина и трех зубьев, способствует изгибу струи и повышению давления на участке до лицевой грани зуба $P_i = 4\gamma h_1$. За зубьями давление падает, при этом наибольший дефицит давления, отнесенный к скоростному напору на выходе из галереи $\beta = |(\gamma h_2 - \bar{P}_i) / (v_1^2 / 2g)| = |\Delta \bar{P}_{\text{ср}} / \gamma v_1^2 / 2g|$,

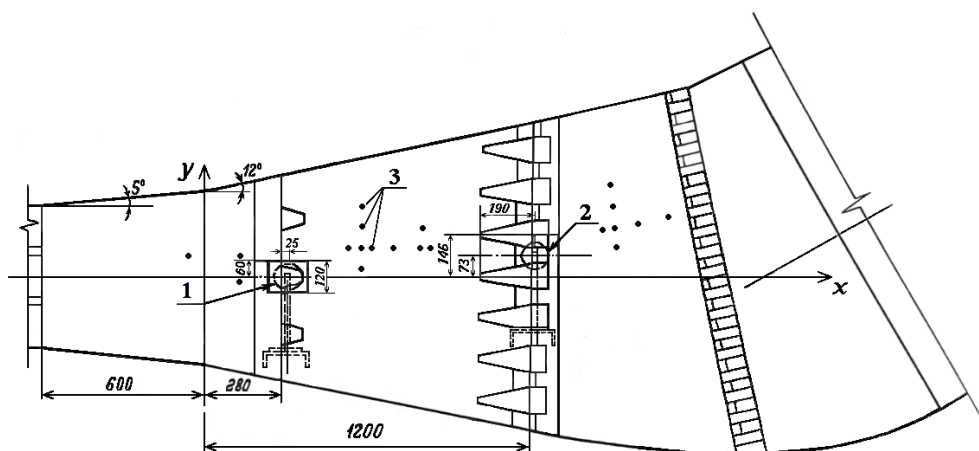


Рис. 3. Схема установки гасителей-датчиков (1, 2) и точечных датчиков (3) на плане выходного участка модели водосброса Шамкирского гидроузла

Fig. 3. Installation diagram of damper-sensors (1, 2) and point sensors (3) on the plan of the outlet section of the Shamkir hydroelectric complex spillway model

составляет 0,23. На водобое области понижения давления распространяются на первую треть плиты второго ряда, а затем давление повышается и практически соответствует гидростатическому (рис. 4). При работе сооружения в режиме 3 давление перераспределяется по поверхности водобоя, и максимум его понижения ($\beta = 0,15$) наблюдается по оси сбойного течения в зоне сваля струй. При работе сооружения двумя галереями (режим 2) более нагруженными по сравнению с работой сооружения тремя галереями оказываются плиты рисбермы и откосов (в зоне закрытых отверстий β увеличивается в 4 раза). За гасителями здесь появляются пригружающие перепады давления. При этом на всем участке нижнего бьефа происходит лишь перераспределение осредненного давления по площади крепления.

В результате экспериментов выявлены области с наибольшей интенсивностью пульсации давления, характеризующейся значениями

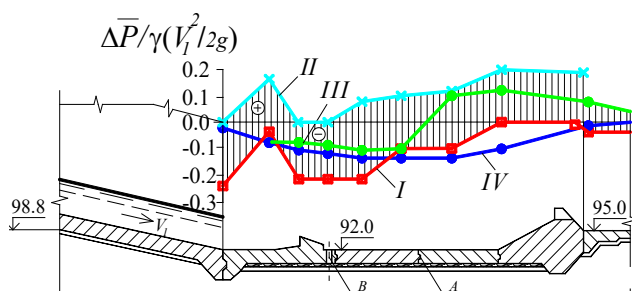


Рис. 4. Схема квазистатического нагружения плит крепления водобойного участка водосброса Шамкирского гидроузла:
 а – продольный разрез по оси водобойного колодца;
 I, II – эпюра перепадов осредненного давления на водобое при работе всех трех галерей при отсутствии или наличии дренажных колодцев (режим 1);
 III – работает только одна крайняя левая галерея (режим 3);
 IV – работает одна средняя галерея (режим 2);
 А – окраска гидроизоляционным составом штрабного шва;
 В – рекомендуемое место расположения дренажных колодцев

Fig. 4. Scheme of quasi-static loading of slabs for fastening the culvert spillway section of the Shamkir hydroelectric complex:
 a – longitudinal section along the culvert axis;
 I, II – diagram of average pressure differences at the culvert during operation of all three galleries in the absence or presence of drainage wells (mode 1);
 III – only one extreme left gallery works (mode 3);
 IV – one middle gallery is open (mode 2);
 A – painting the fine seam with a waterproofing compound;
 B – recommended location for drainage wells

стандарта пульсации P [10]. Установлено, что на расширяющемся водобое водосброса, работающего всеми галереями, интенсивность пульсации наиболее велика за каждым из источников возмущений – соответствующим рядом гасителей. Это объясняется наличием областей отрыва за ними со значительной пульсацией скоростей и нестабильностью высокочастотной компоненты давления. Относительно высокая интенсивность пульсации ($P'/\gamma v_1^2/2g = 2P'/\rho v_1^2 = 0,085$, где $\rho = \gamma/g$ – плотность воды) за гасителем первого ряда в этом режиме работы связана главным образом с эффектами пространственного обтекания зубьев (рис. 5), причем распределение интенсивности пульсации давления лишь на участке до первого гасителя близко соответствует распределению интенсивности под плоским прыжком [11-14]. За вторым рядом гасителей интенсивность пульсации мала и составляет $0,018\gamma v_1^2/2g$. При работе водосброса одним средним пролетом (режим 3) на плитах первого ряда наблюдается некоторое увеличение пульсации давления. За первым зубчатый порогом стандарт пульсации поперек потока возрастает от $0,01\gamma v_1^2/2g$ на расстоянии от выходного сечения галереи $l = 0,12d_1$ до $0,114v_1^2/2g$ при $l = 1,12d_1$. В целом при работе сооружения неполным фронтом значения стандарта пульсации давления на плитах второго и третьего рядов меньше, чем при работе сооружения всеми отверстиями.

Своеобразие схемы гашения и плавное расширение потока приводят к тому, что на водобойном участке даже при работе всех труб наблюдается пространственный режим. Осредненные и пульсационные скорости неравномерно распределены по ширине и глубине потока. При отсутствии поверхностного вальца в некоторых режимах градиенты скорости по глубине

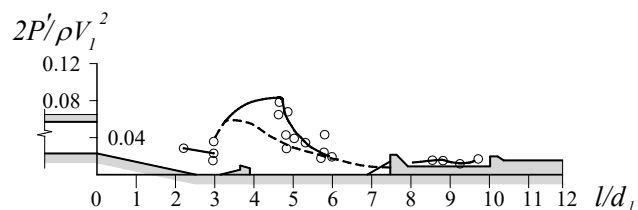


Рис. 5. Изменение относительного стандарта пульсации давления $2P'/\rho v_1^2$ по длине крепления дна раструбного участка за водосбросом при работе всех трех галерей

Fig. 5. Change in the relative standard of pressure pulsation $2P'/\rho v_1^2$ along the length of the fastening of the bottom of the bell section behind the spillway when all three galleries are operating

значительно изменяются, поэтому здесь сильное влияние оказывают боковые зоны раздела, располагаемые в межтрубных областях и в местах примыкания к вертикальным стенкам раструба. В зонах с максимальными значениями стандарта спектры пульсации давления имеют преобладающие частоты $\omega_n = 2\pi/\tau_0$, где τ_0 – характерный период пульсации. За гасителями первого ряда оптимальное совпадение при оценке частот максимума спектра получилось при использовании известной зависимости для частот вальца над струей ω_g [7, 14].

$$\omega_b = 2V/(h_2 - h_1) \approx (0,8 \dots 0,5) V_1/0,5L_b, \quad (2)$$

где V – вертикальная составляющая скорости в прыжке; h_1 и h_2 – глубины потока соответственно в начале и в конце прыжка на рассматриваемом участке; L_b – длина вальца.

Преобладающая частота высокочастотной компоненты колебаний ω_n перед первым рядом гасителей составляет порядка 2,4...3,7 Гц, а за гасителями второго ряда – не более 0,3...0,8 Гц. Сравнение автокорреляционных функций и продольных корреляций позволило установить, что скорость сноса возмущений, зависящую от размера сносимых вихрей, для перехода от частотных спектров к продольным можно принимать за зубчатый порог равной $\sim 0,8$, а за выходным сечением раструба – 0,18...0,04 от локальной средней скорости течения. Это несколько ниже, чем указано в работе [10], для конца прыжка. При работе водосброса средним пролетом (режим 3) энергонесущими становятся еще более низкие частоты, что связано в основном с уменьшением средних скоростей течения [3].

В выходном оголовке расположены 6 рядов плит крепления нижнего бьефа с исследованной конструктивной схемой гасящих устройств: на водобое – 4 ряда поперек потока, на рисберме – 2 ряда размером $2,4h_1 \times 2,4h_1$; $2,0h_1 \times 2,4h_1$; $3,0h_1 \times 3,0h_1$ соответственно. Результаты вычисления пульсационных нагрузок (P'_o – стандарт пульсации равномерно распределенной нагрузки, вызывающей действие на плиту такой же силы, что и фактическая вертикальная пульсационная нагрузка) и моментов (P'_{om} – стандарт пульсаций равномерно распределенной удельной нагрузки, вызывающей действие такого же опрокидывающего момента, что и фактическая пульсационная нагрузка) с учетом пространственных корреляций между колебаниями нагрузки на элементарные площадки ($L_e = 0,6h_1$) представлены на рисунке 6. Анализ полученных результатов еще раз подтверждает экспериментальные данные о резком

уменьшении нагрузки с удалением от начала гидравлического прыжка.

Для плит первого ряда крепления совместно с гасителем первого ряда, испытывающих наибольшие пульсационные воздействия, совпадение с данными экспериментов Г.А. Юдицкого [11] достаточно хорошее – менее 12%. На низележащих участках водобоя и рисбермы это расхождение является более существенным и доходит до 47%, что можно объяснить уменьшением масштабов турбулентности ввиду установки зубчатых порогов и большим подтоплением по сравнению с условиями сопряжения в отмеченных работах. Если водосброс пропускает воду только одной средней галереей (режим 3), удельные нагрузки на плиты первого ряда возрастают в среднем в 1,3 раза по сравнению с работой сооружения всем фронтом (режим 1). Расчет по действующим рекомендациям [14, 15] в этом случае дает значительно заниженный результат (в 1,7 раза). Это говорит об ограничении применения данной методологии в условиях пространственного режима сопряжения бьефов при значительной степени расширения потока. Причиной некоторых расхождений может быть и то, что рекомендации [14] получены на основе амплитудного анализа без учета динамического характера загрузки.

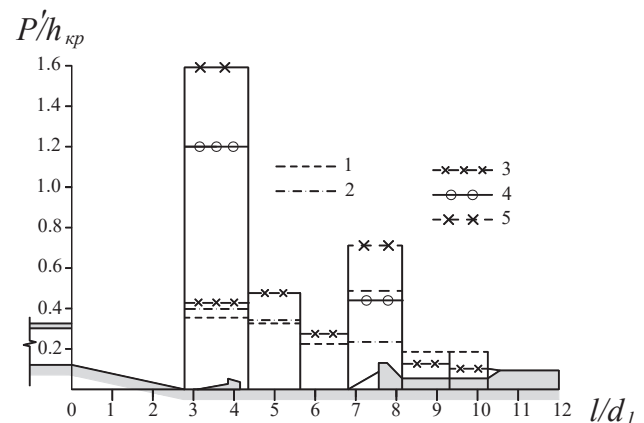


Рис. 6. Распределение удельных осредненных пульсационных нагрузок P'_o на плиты крепления дна раструба: 1 – P'_o по данным [11] для режима 1; 2 и 3 – экспериментальные данные при работе всех трех галерей P'_o и P'_{om} ; 4 и 5 P'_o и P'_{om} при работе сооружения только средним пролетом

Fig. 6. Distribution of specific averaged pulsation loads P'_o on the bell bottom fastening slabs: 1 – P'_o according to data [11] for mode 1; 2 and 3 – experimental data during the operation of all three galleries P'_o and P'_{om} ; 4 and 5 P'_o and P'_{om} when the structure operates only by the middle span

Выводы

Исследования показали возможность достаточно корректной оценки пульсационных нагрузок на плиты крепления нижнего бьефа трехпролетного трубчатого водосброса Шамкирского гидроузла по известным методическим указаниям Научно-исследовательского сектора Гидропроекта и рекомендациям, но только с учетом особенностей изменения гидродинамических характеристик потока в раструбных оголовках, снабженных миксированной схемой гасящих устройств. Выявлено, что расчеты по ним дают удовлетворительные результаты лишь при работе сооружения всем фронтом и при дополнительном уточнении

некоторых параметров расчета, определяемых по результатам модельных исследований экспериментальным путем. После определения суммарных нагрузок и построения квазистатического нагружения прочность и устойчивость элементов крепления нижнего бьефа, а также выбор оптимальной конструкции всей системы «Бетонные плиты крепления-водонасыщенное грунтовое основание» можно оценивать по авторской методологии или классическими методами. Исполнение указанных рекомендаций должно обеспечить надежность и долговечность работы всего Шамкирского гидроузла в целом после завершения его полной реконструкции.

Список использованных источников

1. Розанов Н.П. и др. Устройства нижнего бьефа водосбросов: монография / Н.П. Розанов, Н.Т. Кавешников, О.Н. Черных; Под ред. проф. Н.П. Розанова. М.: Колос, 1984. 269 с.
2. Черных О.Н., Волков В.И. Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах: Учебное пособие. М.: МГУП, 2019. 118 с.
3. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотинной: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2022. 172 с.
4. Chernykh O.N., Komelkov L.V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures // Hydrotechnical Construction. 1983. Vol. 17 (8). Pp. 410-416.
5. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Brakeni A. Operation evaluation of water discharge end sections in the conditions of narrow downthrow // Larhyss Journal. 2023. № 56. Pp. 25-38.
6. Волков В.И. и др. Открытые береговые водосбросы: учебник / В.И. Волков, О.Н. Черных, А.Г. Журавлёва, И.С. Румянцев, В.И. Алтунин. М.: МГУП, 2012. 244 с.
7. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Экспериментальные и аналитические исследования нагрузок на элементы крепления за водосбросами водных объектов АПК // Природообустройство. 2023. № 4. С. 12-20.
8. Сидорова С.А. Безопасность работы плит крепления нижних бьефов гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2022. № 1. С. 61-65.
9. Лятхер В.М. Турбулентность в гидросооружениях: монография. М.: Энергия, 1968. 297 с.
10. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Обеспечение надежности крепления из плит за водопропускными сооружениями мелиоративных систем АПК // Природообустройство. 2023. № 5. С. 41-46.
11. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие / Под ред. Д.Д. Лаппо. М.: Энергоатомиздат, 1988. 624 с.
12. Рекомендации по определению гидродинамических нагрузок, действующих на плиты водобоев и рисберм водосливных плотин. Л.: ВНИИГ, 1979. 52 с.
13. Лятхер В.М., Халтурина Н.В. Динамические нагрузки на водобой и оценка устойчивости крепления

References

1. Rozanov N.P., Kaveshnikov N.T. and others. Design of the downstream of spillways. M.: Kolos, 1984. 269 p.
2. Chernykh O.N., Volkov V.I. Safety assessment of spillway structures for earth dams. M.: MGUP, 2019. 118 p.
3. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Ensuring the safety of hydraulic structures of a reclamation waterworks with an earth dam. M.: RGAU-MSHA, 2022. 172 p.
4. Chernykh O.N., Komelkov L.V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures. Hydrotechnical Construction. 1983. Vol. 17(8). pp. 410-416.
5. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Brakeni A. Operation evaluation of water discharge end sections in the conditions of narrow downthrow. Larhyss Journal. 2023. 56. Pp. 25-38.
6. Volkov V.I., Chernykh O.N., Zhuravleva A.G., Rumyantsev I.S., Altunin V.I. Open coastal spillways. M.: MGUP, 2012. 244 p.
7. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. Experimental and analytical studies of loads on fastening elements behind spillways of water bodies of the agro-industrial complex // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 4. P. 12-20.
8. Sidorova S.A. Safety of operation of slabs for fastening downstream reservoirs of hydraulic structures // Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 1. P. 61-65.
9. Lyather V.M. Turbulence in hydraulic structures. M.: Energy, 1968. 297 p.
10. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Yu. Ensuring the reliability of fastening from slabs behind culverts of reclamation systems of the agro-industrial complex // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 5. P. 41-46.
11. Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures: reference manual. Lappo D.D. M.: Energoatomizdat, 1988. 624 p.
12. Recommendations for determining hydrodynamic loads acting on the slabs of reservoirs and aprons of spillway dams. L.: VNIIG. 1979. 52 p.
13. Lyather V.M., Khalturina N.V. Dynamic loads on the water breaker and assessment of fastening stability. Proceedings of coordination meetings on hydraulic engineering. L.: Energy, 1977. Vol. 116. P. 44-55.
14. Obidov B., Vokhidov O., Shodiev B., Ashirov B., Sapaeva M. Hydrodynamic loads on a water drain with cavitation quenchers. IOP Conference Series: Materials

// Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, 1977. Вып. 116. С. 44-55.

14. **Obidov B., Vokhidov O., Shodiev B., Ashirov B., Sapaeva M.** Hydrodynamic loads on a water drain with cavitation quenchers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 883. Pp. 012011. DOI: 10.1088/1757-899x/883/1/012011.

15. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Свод правил. СП 290. 1325800, п. 4.11. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074911>.

Об авторах

Черных Ольга Николаевна, канд. техн. наук, доцент; WoSResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код: 7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

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

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

Критерии авторства / Authorship criteria

Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов

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

Поступила в редакцию / Received 28.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.09.2024

Принята к публикации / Accepted 19.09.2024

Science and Engineering. 2020. 883. P. 012011. DOI:10.1088/1757-899x/883/1/012011

15. Culvert hydraulic structures (spillways, water outlets and water outlets). Design rules. Set of rules. SP 290. 1325800. 2016. clause 4.11. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074911>

About the authors

Olga N. Chernykh, CSc (Eng), associate professor; WoSResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID: 0000-0003-2905-446X; SPIN-код: 7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

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

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

Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Ya.Yu. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

УДК 556.53:626.8:631.6

**КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЗОР КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ РАСХОДОМЕРОВ С СУЖАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ**А.А. Наумова^{1✉}, Т.В. Пилипенко,² К.Р. Пономарчук³¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия² Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, Россия³ Министерство Сельского Хозяйства РФ (Минсельхоз России) Департамент Научно-технологической Политики и Образования; 107139, Москва, Орликов пер., 1/11, Россия

Аннотация. В условиях возвращающегося дефицита водных ресурсов проблема их экономии и рационального водопользования имеет первостепенное значение, чем обусловлена необходимость совершенствования системы учета воды в гидромелиорации. При учете воды наибольшую сложность представляет проблема расхода воды на каналах с равномерным режимом потока. Традиционные методы измерений «Скорость-площадь» и переменного перепада уровней с сужающими устройствами в целом отвечают современным требованиям и в ближайшей перспективе останутся наиболее распространенными. Исследования были направлены на систематизацию и классификацию конструктивных особенностей расходомеров с сужающими устройствами, а также на обоснование принципов их размещения на открытых гидромелиоративных системах. Для этого были поставлены и успешно решены следующие задачи: обоснование принципов размещения средств измерения на открытых ГМС; выбор оптимальных конструкций расходомеров и определение факторов, влияющих на погрешность измерений при использовании расходомеров с сужающими устройствами. Проведен анализ, свидетельствующий о том, что погрешность коэффициента расхода увеличивается при уменьшении наклона боковых граней водосливов с тонкой стенкой. Распределение погрешности имеет несимметричный характер ввиду нелинейных изменений коэффициентов расхода при изменениях формы сжатого сечения. В результате исследований выявлено, что метод переменного перепада уровней с сужающими устройствами обладает рядом преимуществ включая простоту изготовления и монтажа, а также возможность применения косвенных методов градуировки.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, расходомер с сужающим устройством, каналы, гидротехнические сооружения, расход, уровни воды, взвешенные и влекомые наносы

Формат цитирования: Наумова А.А., Пилипенко Т.В., Пономарчук К.Р. Классификация и обзор конструктивных схем расходомеров с сужающими устройствами для открытых водотоков // Природообустройство. 2024. № 5. С. 88-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

Original article

CLASSIFICATION AND REVIEW OF FLOWMETER DESIGN SCHEMES WITH CONSTRICTION DEVICES FOR OPEN WATERCOURSESА.А. Naumova^{1✉}, Т.В. Pilipenko², К.Р. Ponomarchuk³¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., Russia.² Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk region, Novosibirsk, Shchetyinkin str. 33, Russia³ Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Department of Scientific and Technological Policy and Education; 107139, Moscow, Orlikov per. 1/11, Russia

Abstract. In the context of a returning shortage of water resources, the problem of their conservation and rational use of water is of paramount importance. This necessitates the improvement of the water accounting system in hydro-reclamation. In water metering, the problem of water discharge in canals

with a uniform flow regime is the most difficult: traditional methods of measurement: “velocity – area” and variable level difference with constriction devices, in general, meet modern requirements and in the near future will remain the most common. The study was aimed at systematizing and classifying the design features of flow meters with constricting devices, as well as substantiating the principles of their placement on open irrigation and drainage systems. For this purpose, the following tasks were set and successfully solved: substantiation of the principles of placement of measuring instruments on open HMS, selection of optimal flow meter designs and determination of factors affecting the measurement error when using flow meters with constricting devices. Analyses have been carried out that indicate that the error of the flow coefficient increases with a decrease in the inclination of the side faces of spillways with a thin wall. The distribution of error is asymmetrical due to nonlinear changes in the flow coefficients during changes in the shape of the compressed cross-section. As a result of the study, it was revealed that the method of variable level difference with constriction devices has a number of advantages, including ease of manufacture and installation, as well as the possibility of using indirect calibration methods.

Keywords: hydro reclamation system, flow meter with a constricting device, canals, hydraulic structures, flow rate, water levels, suspended and drifting sediments

Format of citation: Naumova A.A., Pilipenko T.V., Ponomarchuk K.R. Classification and review on flowmeter design schemes with constrictors for open watercourses // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 88-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

Введение. Правительство РФ уделяет повышенное внимание роли мелиорации земель в увеличении производства сельскохозяйственной продукции, что отражено в содержании комплексных долгосрочных программ. Реализация этих планов предусматривает дополнительное использование для орошения миллионов кубометров воды. В настоящее время все более актуальной становится проблема экономии и рационального использования водных ресурсов в пределах гидромелиоративных систем (ГМС) и орошаемых массивов.

Любые меры по экономии воды будут неэффективными без четко налаженной системы ее учета во всех звеньях ГМС. Даже успешное осуществление какого-либо мероприятия не обеспечит решение всей проблемы.

К числу негативных примеров можно отнести недостаточную оснащенность объектов средствами измерений, отсутствие продуманной системы в их размещении, неудовлетворительное качество изготовления и монтажа средств измерений, и как следствие – низкую точность измерений, нарушения технологии измерительных операций, неоперативность обработки, предоставления и использования информации.

Таким образом, не вызывает сомнений актуальность проблемы дальнейшего совершенствования учета и рационального использования оросительной воды в сельском хозяйстве и промышленности.

Цель исследований: систематизация и классификация конструктивных особенностей расходомеров с сужающими устройствами, обоснование принципов их размещения на открытых гидромелиоративных системах.

Для достижения поставленной цели определены и решены следующие задачи:

- обоснование принципов размещения средств измерения на открытых ГМС;
- выбор оптимальных конструкций расходомеров исходя из технических требований к средствам учета воды на открытых ГМС;
- определение состава факторов, влияющих на погрешность расходомеров с сужающими устройствами.

Материалы и методы исследований.

Для водотоков с малыми уклонами применяются сужающие устройства, работающие в затопленном режиме, с контролем положения уровней в обоих бьефах. К простейшим из них относятся диафрагма с круглым отверстием в перегородивающей стенке и «переносной мерный щит Игнатова». В СССР и США диафрагмы с прямоугольной формой отверстия применялись в основном для измерения малых расходов на временной оросительной сети. В послевоенный период в гидромелиоративную систему страны на смену диафрагмам пришли транзитные сужающие устройства типа насадков, имеющих более устойчивые градуировочные характеристики. Самыми распространенными из них являются сходящиеся насадки НПО «САНИИРИ» (М.В. Бутырина), в том числе круглой, прямоугольной и квадратной форм сечения (рис. 1).

В связи с широким распространением на ГМС трубчатых водовыпусков в открытые каналы появилась возможность размещения сужающих устройств на участке низконапорного водовода.

Поскольку типовые трубчатые водовыпуски зачастую используются в качестве переездов

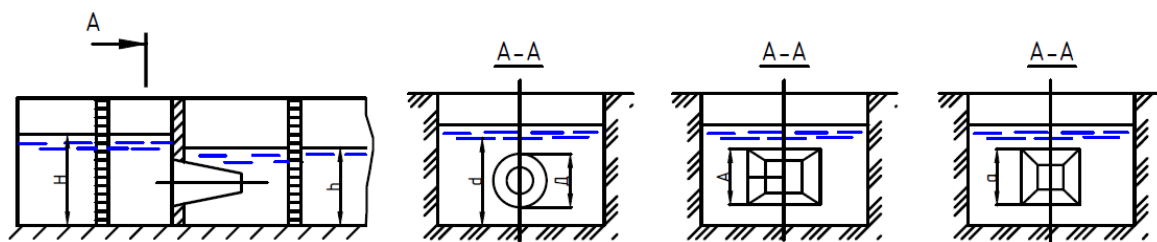


Рис. 1. Конструктивные схемы сужающих устройств, работающих в затопленном режиме истечения

Fig. 1. Design schemes of constricting devices operating in the flooded flow regime

на эксплуатационных автодорогах, а истечение в нижний бьеф сопровождается волновыми явлениями, то в этих случаях размещение сужающих устройств на участках напорных водоводов нежелательно с точки зрения удобства обслуживания или низкой точности измерений. По этой причине закономерно появилась идея размещения сужающих устройств в верхнем бьефе регулирующих сооружений, непосредственно вблизи затворов. Однако область применения сужающих устройств, расположенных в верхнем бьефе регулирующих сооружений, ограничена взаимным влиянием положений затворов на многопролетных сооружениях, допустимыми пределами подходной скорости, необходимостью симметричного распределения скоростей потока на подходном участке и др.

Поскольку сами затворы регулирующих гидротехнических сооружений являются сужающими устройствами, естественным представляется их использование для целей измерения расхода. Разработки в этой области весьма разнообразны и впоследствии образовали целое направление, развивающееся по схеме: регулирующее устройство – средство измерений – гидравлический стабилизатор расхода.

Отсутствие проектно-сметной документации и оценки технико-экономических показателей вынуждает отдавать предпочтение какой-либо конструкции на основании сравнительного анализа технических характеристик (табл.) и увязке с особенностями применения на водохозяйственных объектах.

Унификация расходомеров для ГМС имеет смысл только в стыковке с типовыми проектными решениями каналов и гидротехнических сооружений. Но так как действующие отраслевые нормативы [1] предусматривают применение стандартных типоразмеров на каналах с максимальной пропускной способностью до $10,0 \text{ м}^3/\text{с}$, то следует ограничить верхние пределы измерений серийно выпускаемых расходомеров этим показателем, хотя для некоторых сужающих устройств даны и более расширенные

диапазоны (табл. 2.1). Этот вывод подкрепляется отечественным и зарубежным опытом, показывающим, что применение сужающих устройств на крупных каналах является неэффективным по сравнению с другими средствами измерений ввиду излишней материалоемкости и потери пропускной способности водотоков. Кроме того, существующие нормативы регламентируют допустимые пределы погрешности измерений расхода жидкости также в диапазоне до $10,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

К погрешности, обусловленной влиянием окружающей и водной среды, следует отнести величины ускорения силы тяжести, плотности или объемного расширения, сил поверхностного натяжения и вязкости жидкости. Их влияние на основную погрешность неоднозначно и не только зависит от изменений условий среды, но и связано с геометрией сужающих устройств. Поэтому прежде чем перейти к их анализу, следует установить возможные пределы изменения габаритов сужающих устройств и диапазоны гидравлических режимов, в том числе критериев Фруда и Рейнольдса.

Результаты и их обсуждение. Величины ускорения силы тяжести, если не считать крайне незначительных временных флуктуаций, зависят от широтного расположения объекта и превышения его высотных отметок над уровнем моря, то есть имеют систематический характер. Эта величина для любых объектов в России может быть определена по формуле [7]:

$$g_i = 9.80616 \times (1 - 0.0026373 \cdot \cos 2\varphi_i + 0.0000059 \cdot \cos^2 2\varphi_i) \times \left(\frac{r}{2 + h_g} \right), \quad (1)$$

где g_i – ускорение силы тяжести в зоне расположения расходомера, $\text{м}/\text{с}^2$; r – условный радиус Земли, при котором ускорение силы тяжести и вертикальный градиент ускорения соответствуют нормальным условиям, привязанным к широте $45^\circ 32' 33''$, м, для этих условий $g_0 = 9,80665 \text{ м}/\text{с}^2$; φ_i – географическая широта в зоне расположения объекта, град.; h_g – высота расположения объекта относительно уровня моря, м.

Ввиду систематического характера изменений величины ускорения она может быть исключена введением корректирующего множителя в градуировочную характеристику:

$$K_g = \left(\frac{g_i}{g_0} \right)^{0.5}. \quad (2)$$

Из формул (1, 2) следует, что для зоны орошаемого земледелия, расположенной на высотных отметках от уровня моря до 1500 м и между географическими широтами от 35 до 50 градусов, величина корректирующего коэффициента изменяется в пределах $K_g = 0,9965 \dots 1,0004$, то есть дает максимальную погрешность в случае пренебрежения этим фактором порядка 0,15%. Расчеты величины корректирующего коэффициента K_g для различных регионов страны приведены в источниках [8, 9].

Поверхность жидкости на границе раздела с воздухом благодаря силам взаимного притяжения частиц в этом слое находится в состоянии равномерного натяжения. При истечении жидкости через сужающее устройство эти силы оказывают тормозящее воздействие на поток, относительное влияние которого возрастает с уменьшением габаритов сжатого сечения. Оценку влияния этих сил можно произвести при сопоставлении напора жидкости над условной плоскостью сужающего устройства и дефицита напора, обусловленного влиянием поверхностного натяжения и определенного по формуле:

$$H_s = \frac{2\sigma_H}{4R\gamma}, \quad (3)$$

где H_s – дефицит действующего напора вследствие влияния сил поверхностного натяжения жидкости, м; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м; γ – удельный вес жидкости, Н/м³; R – гидравлический радиус сужающего устройства, м.

Анализ формулы (3) и результаты расчета подтверждают, что при увеличении габаритов сужающих устройств и напора величина σ уменьшается и при $R > 0.30$ м, $H > 0.30$ м становится пренебрежимо малой. Отметим, что для водосливов с тонкой стенкой в градуировочные характеристики расходомеров заложена стандартная поправка на влияние сил поверхностного натяжения жидкости, поэтому дополнительно составляющую погрешность учитывать не следует.

В структуре исходных коэффициентов расхода сужающих устройств уже учтен диапазон измерений режима потока для нормированных условий испытаний.

При истечении через сужающее устройство поток жидкости под действием сил инерции и гравитации постепенно уменьшается в сечении до некоторого минимального значения, после чего происходит его трансформация до режима, обусловленного характеристиками канала в нижнем бьефе.

Для сужающих устройств, работающих по схеме водосливов полигонального профиля – порогов Крампа, НПО «САНИИРИ» и др., процесс истечения аналогичен водосливам с тонкой стенкой, но в зависимости от конфигурации продольного профиля форма струи может быть или свободной, или прилипшей. Поскольку у них конструкция входного участка создает более плавные условия подхода жидкости к сжатому сечению, величина коэффициента сжатия струи, а следовательно, и коэффициента расхода, превышает соответствующие значения по сравнению с водосливами с тонкой стенкой. У лотков Паршалла, Вентури, САНИИРИ водослив с широким порогом, работающим по схеме донного или бокового сжатия потока, также образуется в верхнем бьефе кривая спада с перепадами глубин от H до H_0 , причем соблюдается условие ($H_0 > 0,40 \dots 0,60 H$). У сужающих устройств, работающих при переменном перепаде уровней жидкости, величина коэффициента сжатия струи спада обусловлена иными причинами, так как в этом случае отсутствует кривая спада свободной поверхности в верхнем бьефе. Подробный анализ факторов, влияющих на величину коэффициента сжатия струи, со ссылками на результаты экспериментов приведен В.Д. Альтшулем и С.М. Слисским [10]. В частности, ими доказано, что экспериментальные данные показывают близкую сходимость с отклонениями порядка $\pm 3\%$.

Изменение коэффициента расхода от наклона напорной плоскости с широким порогом исследовано Д.И. Куминым. Обобщенные результаты приведены на рисунке 2.

Для таких сужающих устройств, как порог НПО «САНИИРИ», у которого наклон напорной грани составляет $18,4^\circ$, влиянием допусков в пределах $\pm (2 \dots 3)$ на величину коэффициента расхода можно пренебречь.

Специальная серия опытов была посвящена исследованиям влияния наклона порога треугольного профиля на величину коэффициента расхода. Опыты проводились К.Л. Валентини в диапазоне изменения уклона порога от $21,3^\circ$ до $33,5^\circ$, при изменении расходов воды от $0,004$ до $0,06$ м³/с и уровней воды от $0,05$ до $0,16$ м, при постоянной высоте порога

$P = 0,20$ м. Результаты опытов позволили установить связь вида $C_\alpha = f(\alpha)$, показанную на рисунке 3.

По результатам анализа всех рассматриваемых опытов ряда авторов построены графики, представленные на рисунке 4.

Для сужающих устройств с параболической формой отверстия коэффициенты расхода зависят от изменения величины фокусного параметра P_Φ . Водосливы с тонкой стенкой параболической формы в диапазоне изменения P_Φ от 0,005 до 0,10

подробно исследованы Ф. Грееве, а в пределах P_Φ от 0,01 до 0,035 – К.Л. Валентини.

Различные эмпирические формулы вида $C = f(P_\Phi)$ дают весьма близкую сходимость. В связи с этим для расчетов погрешности коэффициента расхода была использована эмпирическая формула [11], справедливая для диапазона изменения P_Φ от 0,05 до 0,35 м:

$$C_0 = 0,343 + \frac{0,0002 + 0,08P_\Phi^{2,5}}{H}. \quad (4)$$

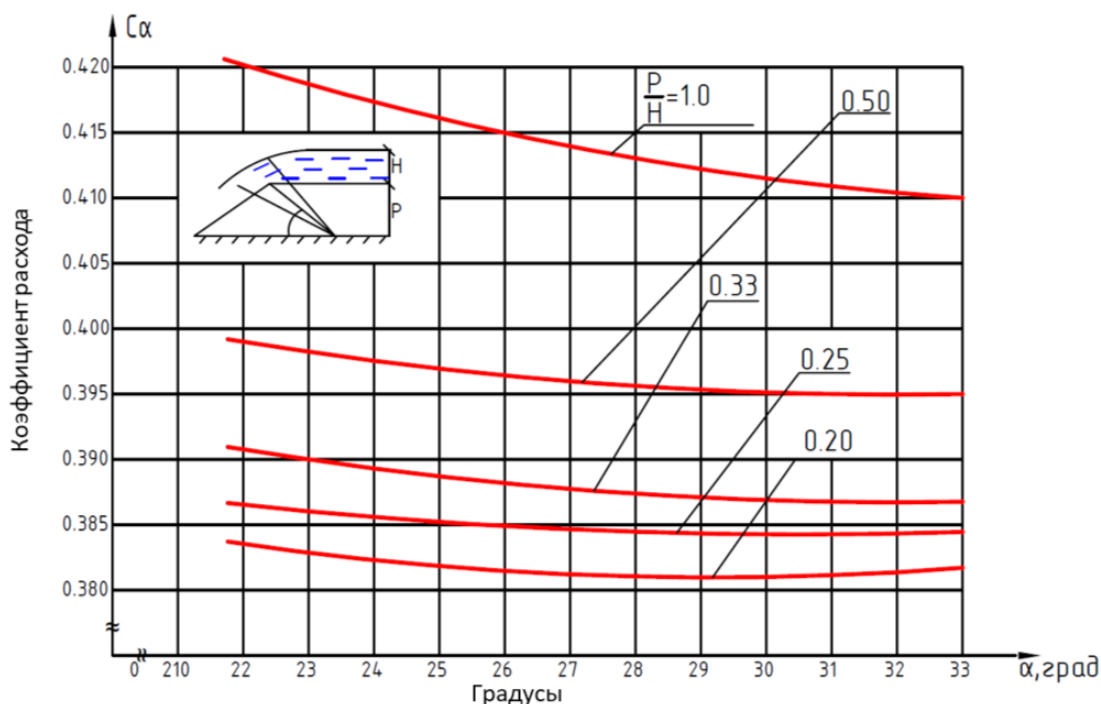


Рис. 2. Зависимость коэффициента расхода водосливов с широким порогом от изменения угла наклона напорной грани (по данным Д.И. Кумина)

Fig. 2. Dependence of the spillway flow coefficient with a wide threshold on the change in the inclination angle of the pressure face (based on the data by D.I. Kumin)

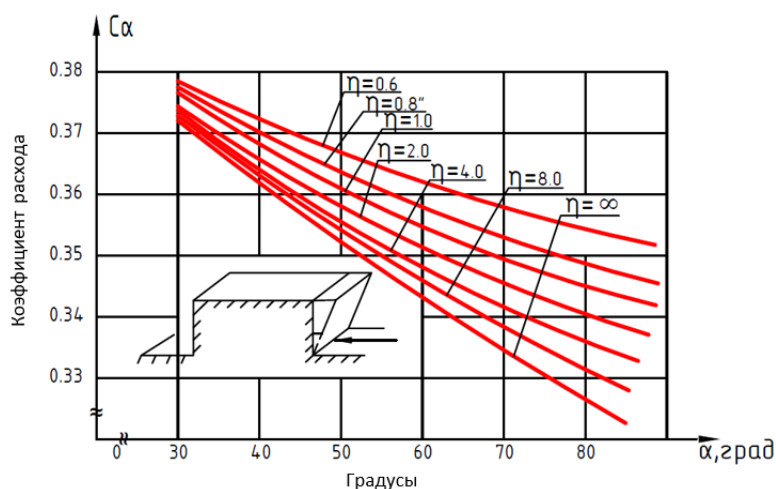


Рис. 3. Зависимость коэффициента расхода водослива треугольного профиля изменения углов наклона напорной грани при различных значениях P/H

Fig. 3. Dependence of the flow coefficient of the spillway of a triangular profile on the change in the inclination angles of the pressure face at different P/H values

Результаты расчетов, проведенных по указанной выше методике в диапазоне изменения $\Delta P_{\phi} \leq \pm 0.02$, представлены на рисунке 5.

Для водосливов с широким порогом, лотков и других сужающих устройств, работающих в безнапорном режиме, изменение формы сжатого сечения характеризуется отклонениями от вертикального положения боковых стенок. В 1987 г. проводились специальные исследования на макетах водосливов с широким порогом из органического стекла шириной по дну 0,20 м и длиной 0,70 м для изучения зависимости коэффициента расхода от наклона боковых стенок в диапазоне изменения углов от 85 до 95° относительно дна водосливов при изменении уровней воды от 0,07 до 0,18 м. Это позволило установить функцию влияния погрешности коэффициента расхода δC_3 от угла наклона боковых стенок от вертикали в диапазоне $\Delta \alpha = \pm 5, 0^\circ$.

Для различных типов сужающих устройств форма продольного профиля характеризуется

различными параметрами: углом наклона полки для насадок, углами сходимости конформно-диффузорного перехода для труб Вентури и др.

Наиболее полно изучено влияние на коэффициент расхода конфигурации выхода из сужающего устройства, работающего по схеме напорного диффузора. В ряде источников упоминается, что данный вопрос исследовали, в частности, Г.А. Гуржиенко, И.Е. Альтшуль, К.Л. Валентини [12-15]. Это позволяет заключить, что в развитии турбулентном режиме при неизменных условиях сжатия потока и распределения скоростей перед диффузором коэффициенты сопротивления, а следовательно, и расхода, весьма незначительно меняются в диапазоне углов конусности $\alpha \leq 12^\circ$, при котором соблюдается безотрывная форма истечения. Этот вывод, справедливый для напорных сужающих устройств типа труб Вентури, подтвердился и при лабораторных исследованиях безнапорных несимметричных диффузоров.

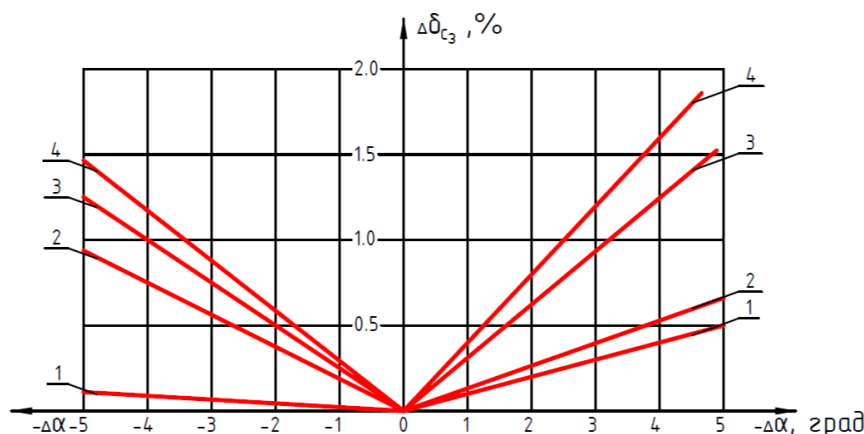


Рис. 4. Зависимость погрешности коэффициента расхода от изменения углов наклона боковых граней водосливов с тонкой стенкой

Fig. 4. Dependence of the error of the flow coefficient on the change in the inclination angles of lateral spillway faces with a thin wall

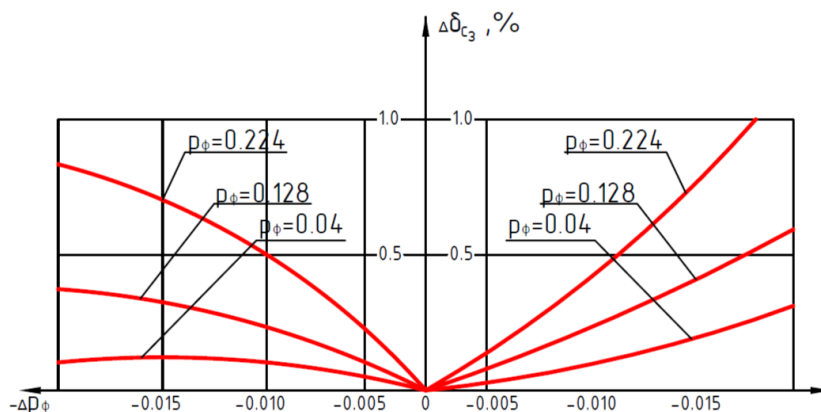


Рис. 5. Зависимость погрешности коэффициента расхода от изменения фокусного параметра сужающих устройств с параболической формой отверстия

Fig. 5. Dependence of the error of the flow coefficient on the change in the focal parameter of constricting devices with a parabolic hole shape

Выводы

Результаты исследований позволяют констатировать следующее:

– погрешность коэффициента расхода устойчиво возрастает с уменьшением наклона боковых граней водосливов с тонкой стенкой;

– для всех видов водосливов распределение погрешности с разными знаками имеет несимметричный характер ввиду нелинейного закона изменений коэффициентов расхода при изменениях формы сжатого сечения;

– поскольку значения погрешности δC_3 достаточно велики, рассматриваемая составляющая погрешности должна учитываться при оценке основной погрешности измерений расходомеров с водосливами с тонкой стенкой;

– эффективность учета воды во многом определяется и уровнем эксплуатации средств измерений. В связи с этим важную роль должна играть унификация процесса сбора, обработки и предоставления информации.

Список использованных источников

- ГОСТ-33-27-80. Расходомеры для гидромелиоративных систем. Общие технические условия. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
- Виноградов Б.А.** Формирование стока на грунтовых участках транспортных сооружений // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. 2022. № 2 (3). С. 47-53.
- Chaube U.C., Pandey A., Singh V.P.** Measurement of Flow and Sediment in Canals // Canal Irrigation Systems in India: Operation, Maintenance, and Management. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. Pp. 223-251.
- Пикалов Ф.И., Попова В.Я.** Ирригационные водомеры-регуляторы / Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1943. 59 с.
- Мухаммадиев М.М., Клычев Ш.И., Жанкабылов С.У.** Особенности расчета регулирования расхода воды // Innovatsion texnologiyalar № 1 (29). 2018 у. 2018. С. 31-35.
- Хамадов И.Б., Гартунг А.А.** Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов // Гидротехника и мелиорация. 1966. № 8.
- ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры = Standart atmosphere. Parameners: Межгосударственный стандарт: взамен ГОСТ 4401-73, май 2004 г., с изм. № 1, утв. в феврале 1987 г. (ИУС 5-87), введ. 1 июля 1982 г. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 180 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200009588?ysclid=m2sssx93qet798838382>
- Разработать нормативы на точность и технические требования на средства учета воды в условиях автоматизации водораспределения на оросительных каналах Средней Азии: Отчет (заключительный этап) по теме ГИ 02-233 ПКТИ «Бодавтоматика и метрология». Фрунзе, 1982.
- Пахомов А.А.** Устройство для измерения расходов воды в открытых каналах / Тронеv С.В., Мелихов К.М., Колобанова Н.А. // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 4. С. 29-33. EDN: MUTSEB.
- Альтшуль А.Д.** Гидравлические сопротивления трубопроводов 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. С. 224.
- Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф.** Насосы и насосные станции: учебник. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. С. 330. EDN: ZFNYCZ.
- Валентини К.А., Лобачев П.В.** Оценка погрешности коэффициента расхода некоторых

References

- GOST-33-27-80. Flowmeters for irrigation and drainage systems. General technical conditions. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
- Vinogradov B.A.** Runoff formation on the ground areas of transport structures // Problems of expertise in the automobile and road industry. 2022. № 2 (3). P. 47-53.
- Chaube U.C., Pandey A., Singh V.P.** Measurement of Flow and Sediment in Canals // Canal Irrigation Systems in India: Operation, Maintenance, and Management. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. P. 223-251.
- Pikalov F.I.** Irrigation water-meters-regulators [Text] / Ing. F.I. Pikalov, Ing. V.Ya. Popova; All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. Moscow: Selkhozgiz, 1943. 59 p.
- Mukhammadiev M.M., Klychev Sh.I., Zhankabyllov, S.U.Y.** Features of calculation of water flow regulation // Innovatsion texnologiyalar № 1 (29) 2018 у. 2018. С. 31-35.
- Hamadov I.B., Gartung A.A.** Automatic gates with constant water flow rate for outlets of irrigation canals. Hydrotechnics and Melioration, 1966, No. 8.
- GOST 4401-81. Standard atmosphere. Parameters = Standard atmosphere. Parameners: interstate standard. – Replacing GOST 4401-73: Ed. (May 2004) with Modification No. 1, approved in Febr. 1987 (IUS5-87) / Introduced 01.07.82. Moscow: IPK Izd vo Standards, 2004. 180 p.
- Report (final stage) on the project GI 02-233 'To develop standards for accuracy and technical requirements for water accounting means under conditions of water distribution automation on irrigation canals in Central Asia'. PKTI Bodavtomatika and Metrology', Frunze, 1982.
- Pakhomov A.A.** Device for measuring water discharge in open canals / A.A. Pakhomov, SV. Tronev K.M. Melikhov, N.A. Kolobanova // Reclamation and Water Management. 2009, № 4. P. 29-33. EDN: MUTSEB
- Altshul A.D.** Hydraulic resistance of pipelines: 2nd ed. revised and supplemented. M.: Nedra, 1982. P. 224.
- Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevskiy V.F.** Pumps and pumping stations: textbook. Moscow: Izd-vo RGAU-MSKHA, 2015. P. 330. EDN: ZFNYCZ
- Valentini K.A., Lobachev P.V.** Estimation of the error of the flow coefficient of some constricting devices due to their deviation from the standard shape // Measuring technology of water management systems: Proceedings of VNII VODGEO. M.: VODGEO Research Institute, 1983. P. 112
- Arkharov I.A., Kakorin I.D.** Calculation methodology of the cryogenic two-phase flow rate

сужающих устройств вследствие отклонения их от стандартной формы // Измерительная техника систем водного хозяйства: Труды ВНИИ ВОДГЕО. М.: ВНИИ «ВОДГЕО», 1983. 112 с.

13. **Архаров И.А., Какорин И.Д.** Методика расчета расхода криогенных двухфазных потоков в бесепарационных расходомерах на базе сужающего устройства // Измерительная техника. 2020. № 7. С. 34-42.

14. **Али М.С., Бегляр Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е.** Анализ факторов, определяющих погрешность расходов с сужающими устройствами на каналах головных насосных станции // Природообустройство. 2023. № 2. С. 99-105.

15. **Некоз К.С.** Анализ метода расчета производительности по гидросмеси расходомером переменного перепада давления с сужающим устройством // Сборник трудов конференции «Молодые – наукам о Земле». Старый Оскол: Российский геологоразведочный университет, 2020. С. 138-141.

Об авторах

Анна Анатольевна Наумова, соискатель кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Татьяна Викторовна Пилипенко, канд. техн. наук, доцент кафедры ВИП и ГТС Сибирского государственного университета водного транспорта; SPIN-код: 1801-6810; AuthorID: 408544, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6588>; t.v.pilipenko@nsawt.ru

Карина Рюриквна Пономарчук, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, ведущий советник Департамента научно-технологической политики и образования Минсельхоза России, AuthorID: 412883; k.ponomarchyk@polit.mcx.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Наумова А.А., Пилипенко Т.В., Пономарчук К.Р., 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 interests

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

in the segregationless flowmeters based on the constricting device // Measuring technique. 2020. № 7. P. 34-42.

14. **Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E.** Analysis of the factors determining the error of flow rates with constricting devices on the channels of the head pumping stations // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 2. P. 99-105.

15. **Nekoz K.S.** Analysis of the method of calculation of the hydro-mix productivity by the flow meter of variable pressure drop with a constricting device // Young Earth Scientists. 2020. P. 138-141.

Author information

Anna A. Naumova, candidate of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Tatyana V. Pilipenko, CSc (Eng), associate professor of the department; SPIN-код: 1801-6810; AuthorID: 408544, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6588> t.v.pilipenko@nsawt.ru

Karina R. Ponomarchuk, Cs (Eng), associate professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; Senior Advisor to the Department of Scientific and Technological Policy and Education of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, AuthorID: 412883; k.ponomarchyk@polit.mcx.ru

Naumova A.A., Pilipenko T.V., Ponomarchuk K.P., 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/10.26897/1997-6011-2024-5-96-103>

УДК 556.3:004.94 (470.311)



ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНОГО ВОДОЗАБОРА ГОРОДСКОГО ОКРУГА ЩЕЛКОВО МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Ширяева

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

Аннотация. Цель исследований заключалась в обосновании установления поясов зон санитарной охраны для проектируемых скважин в районе Щелково Московской области с учетом гидрогеологических условий. Объектом исследований являлись водозаборный узел в Щелковском районе, осуществляющий централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение населения городского округа Щелково Московской области, питьевая вода скважин и разводящей сети. Проведены лабораторные исследования состава подземных вод, согласно которым выявлено, что вода в скважинах – сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая. Расчеты показали, что на рассматриваемой территории касимовский водоносный горизонт по степени естественной защищенности относится к защищенным. Расчет второго и третьего поясов ЗСО (зона строгого режима), окружающих водозаборы подземных вод, производился в программе ANSDIMAT. Результатом исследований стала аналитическая модель на основе гидрогеологической изученности региона.

Ключевые слова: подземные воды, скважины, программа ANSDIMAT, зоны санитарной охраны, водоносный горизонт, артезианский бассейн, аналитическая модель

Формат цитирования: Ширяева М.А. Обоснование границ зон санитарной охраны подземного водозабора городского округа Щелково Московской области // Природообустройство. 2024. № 5. С. 96-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-96-103>

Original article

SUBSTANTIATION OF THE SANITARY PROTECTION ZONE BOUNDARIES OF THE GROUNDWATER INTAKE IN SHCHELKOVO URBAN DISTRICT OF MOSCOW REGION

M.A. Shiryayeva

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rosпотребнадзор; 141014, Mytishchi, Semashko str., 2, Russia

Abstract. The purpose of the study was to substantiate the establishment of sanitary protection zone belts for projected wells in the Shchelkovo area of the Moscow region, taking into account hydrogeological conditions. Laboratory studies of the composition of groundwater were carried out, according to which it was revealed that the water in the wells is sulfate-bicarbonate magnesium-calcium. Calculations have shown that in the territory under consideration, the Kasimov aquifer, according to the degree of natural protection, belongs to the protected ones. The calculation of the second and third zones of the ZSO (high security zone) surrounding groundwater intakes was carried out in the ANSDIMAT program. The result of the study was an analytical model based on the hydrogeological knowledge of the region.

Keywords: groundwater, wells, ANSDIMAT program, sanitary protection zones, aquifer, artesian basin, analytical model

Format of citation: Shiryayeva M.A. Substantiation of the sanitary protection zone boundaries of the groundwater intake in Shchelkovo urban district of Moscow region // Prirodobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 96-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-96-103>

Введение. Приоритетная задача в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации – обеспечение высококачественной питьевой водой. Требования к качеству воды определяются в зависимости от того, для чего она предназначена. Питьевая

вода должна соответствовать органолептическим требованиям, быть безопасной с точки зрения эпидемиологии, безвредной по химическому составу [1].

В городе Щелково Московской области качество питьевой воды системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения характеризуется несоответствием санитарным правилам по показателям мутности, железа суммарно и хрома суммарно по данным за период с 2016 по 2021 гг. Для обеспечения максимально безопасной питьевой воды требуется установка границ зон санитарной охраны в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями и гидрогеологическими условиями.

Цель исследований: обоснование установления поясов зон санитарной охраны для проектируемых скважин в районе Щелково Московской области с учетом гидрогеологических условий.

Объектом исследований являлись водозаборный узел в Щелковском районе, осуществляющий централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение населения городского округа (далее – г.о.) Щелково Московской области, питьевая вода скважин и разводящей сети [2, 3].

Материалы и методы исследований. Городской округ Щелково расположен в южной приосевой части Московского артезианского бассейна и характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, которые определяются физико-географическими, геолого-структурными

и литолого-фациальными особенностями района и геологических условий (рис. 1).

Были отобраны пробы ненарушенной структуры из связных грунтов, нарушенной структуры из песчаных грунтов и пробы подземных вод для проведения лабораторных исследований. Лабораторные исследования и обработка результатов осуществлялись согласно требованиям нормативных документов: ГОСТ 30416-2012, ГОСТ 25100-2011, ГОСТ 31384-2008, ГОСТ 20522-2012 и др. В обработку и анализ были включены данные по качеству воды, подающейся населению г.о. Щелково Московской области водозаборами, выполненные в рамках производственного контроля в период 2016-2021 гг. испытательной лабораторией МУП «Межрайонный Щелковский водоканал» и Щелковским филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» из скважин и перед поступлением в разводящую сеть.

Степень защищенности подземных вод водоносного горизонта от потенциальных загрязнений зависит от проницаемости и мощности водоупорных толщ и определяется временем фильтрации из возможно незащищенных подземных вод вышележащих горизонтов по формуле [3]:

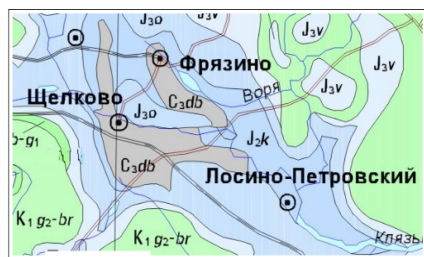
$$T_{\text{сут}} = \frac{m_0^2 \cdot n}{k_0 \cdot \Delta H}, \quad (1)$$

где m_0 – мощность водоупорных глин; n – пористость водоупорных пород, в среднем принимаемая равной 0,05; k_0 – вертикальный коэффициент фильтрации глин, принимаемый по данным разведочных работ и оценок запасов подземных вод $3 \cdot 10^{-5}$ м/сут.; ΔH – разность уровней турабьевского и четвертичного водоносных горизонтов.

В соответствии с СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения», с целью исключения возможности загрязнения подземных вод эксплуатируемого горизонта для проектируемых одиночных скважин, предусматривается создание ЗСО в составе трех поясов.

I пояс ЗСО – зона строгого режима, включающая в себя территорию расположения артезианских скважин. Его назначение – защита от случайного или умышленного загрязнения и повреждения. С учетом благоприятных топографических санитарных и гидрогеологических условий участка (естественная защищенность водоносного горизонта от поверхностного загрязнения перекрывающей песчано-глинистой толщей мощностью 65 м) согласно упомянутому СанПиН п. 2.2.1.1 радиус I пояса ЗСО может быть принят по согласованию с ТОУ Роспотребнадзора как менее 30 м.

Дочетвертичные отложения



Условные обозначения

$K_1 g_2 - br$	Верхний подъярус готеривского яруса-барремский ярус. Пески, алевроиты с прослоями глин. До 30м.
J_{3v}	Волжский ярус. Пески с фосфоритами и песчаники, внизу глинистые алевроиты. До 39м.
J_{3o}	Оксфордский ярус. Глины до 20м.
J_{2k}	Келловейский ярус. Глины, внизу иногда пески. До 50м.
C_{3dr}	Дорогомилевский горизонт. Известняки и доломиты с прослоями глин и доломитизированных мергелей. До 16м.

Рис. 1. Карта дочетвертичных отложений Щелковского района

Fig. 1. Map of pre-quaternary deposits of the Shchelkovo district

II пояс ЗСО – зона ограничений по бактериальному загрязнению, которая рассчитывается по формуле [3, 4]:

$$R_{\text{бак}} = \sqrt{\frac{Q \cdot T_{\text{бак}}}{m \cdot \pi \cdot \mu}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{бак}}$ – радиус II пояса ЗСО по бактериальному загрязнению; Q – водоотбор из одной рабочей скважины; $T_{\text{бак}}$ – время выживания болезнетворных микроорганизмов в водоносном пласте; m – общая мощность водоносного горизонта; μ – активная пористость известняков карбона.

III пояс ЗСО – зона ограничений по химическому загрязнению, рассчитываемая по аналогичной формуле, при $T_{\text{хим}}$ (время, необходимое для защиты водозабора от химических загрязнений для данного района), равном 10000 суток.

Расчет второго и третьего поясов ЗСО, окружающих водозаборы подземных вод, доступен для всех типовых схем, входящих в программный комплекс ANSDIMAT (рис. 2). ANSDIMAT – программный комплекс, разработанный отделением Санкт-Петербургского института геоэкологии Российской академии наук для аналитической и численной обработки опытно-фильтрационных опробований прямыми и обратными методами [4].

При проведении опытно-фильтрационных работ использовался насос 2ЭЦВ8(8АПВм), установленный в скважине на глубине 80 м. Замеры дебита скважин выполнялись с помощью приборов учета воды. Замеры уровня подземных вод

в скважине в процессе откачки осуществлялись с помощью электроуровнемера УСК-ТЭ-150.

Общее уравнение для понижения уровня в наблюдательной скважине при групповой откачке с постоянным расходом [5] –

$$s = P \sum_{i=1}^N Q_i f(r_i, t), \quad (3)$$

где $f(r_i, t)$ – функция, описывающая расчетную гидрогеологическую схему опытного опробования; N – количество опытных скважин; P – постоянная величина (зависит от расчетной схемы); Q_i – постоянный расход в i -й опытной скважине, м³/сут.; r_i – расстояние от наблюдательной скважины до i -й опытной скважины, м; s – понижение в наблюдательной скважине, м; t – время от начала откачки, сут.

Решение строится на нестационарной зависимости для понижения уровня в наблюдательной скважине, когда откачка осуществляется из одной опытной скважины. Квазистационарный режим – нестационарный режим, но в каждый момент времени его можно считать стационарным [6, 7]. Если дебит постоянный, то в напорном изолированном пласте воронка депрессии будет опускаться параллельно самой себе. В напорном изолированном пласте этот режим обуславливается проявлениями упругой емкости. Уравнение Тейса – это решение для уравнения фильтрации в напорном изолированном, неограниченном в плане пласте при откачке из совершенной скважины с постоянным дебитом Q начиная с момента t_0 при исходном стационарном потоке [8-10].

Решение Купера-Джейкоба [7, 8] –

$$s = \frac{0.183 \cdot Q}{T} \lg \frac{2.25at}{r^2}, \quad (4)$$

где a – пьезопроводность водоносного пласта, м²/сут.; Q – расход опытной скважины, м³/сут.; r – расстояние от опытной скважины до наблюдательной скважины, м; s – понижение в наблюдательной скважине, м; T – проводимость водоносного пласта, м²/сут.; t – время от начала откачки, сут.

Расчетными гидрогеологическими параметрами для подсчета запасов подземных вод касимовского водоносного горизонта служат коэффициенты водопроводности, пьезопроводности и величина допустимого понижения уровня воды на расчетный период эксплуатации.

На графике временного прослеживания $s^{-\lg t}$ способом прямой линии определяются проводимость и пьезопроводность водоносного пласта:

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{C}, \lg a = \frac{A}{C} + \lg \frac{r^2}{2.25},$$

где A – величина, которую отсекает прямая линия на оси ординат; C – угловой коэффициент прямой линии.

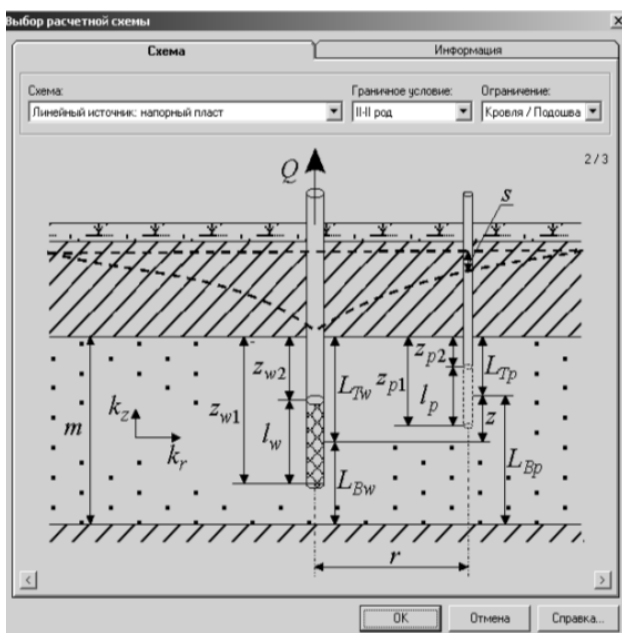


Рис. 2. Рабочее окно программы ANSDIMAT при выборе расчетной схемы

Fig. 2. Working window of the ANSDIMAT program when selecting a design scheme

Таблица 1. Данные опытного опробования
Table 1. Data of the pilot testing

Параметр Parameter	Значение Value
Длительность откачки, сут Pumping duration, days	79.43291
Расход опытной скважины, м ³ /сут The flow rate of the pilot well, m ³ / day	1000
Мощность водоносного пласта, м The capacity of the aquifer, m	20
Расстояние от наблюдательной до опытной скважины, м Distance from the observation well to the test well, m	79.5

График временного прослеживания

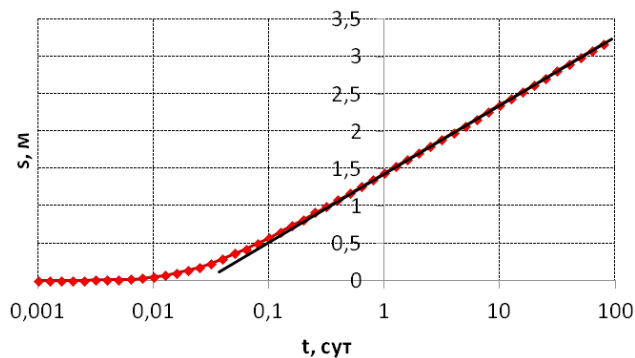


Рис. 3. График временного прослеживания, построенный по фактическим данным понижения уровня (скважина 4). Для определения параметров используется способ прямой линии

Fig. 3. Time tracking schedule. The graph is based on the actual data of the level decrease (well 4). The straight line method is used to define the parameters

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ лабораторных исследований питьевой воды централизованной системы водоснабжения городского округа Щелково показал, что интенсивность запаха воды в скважинах, резервуарах и разводящей сети не превышала гигиенического норматива, находясь в интервале от 0 до 1 балла.

Цветность воды из скважин на протяжении последних лет в своих максимальных значениях характеризуется неустойчивыми показателями, однако всегда соответствует гигиеническому нормативу (не более 20°). В то же время, с учетом системы водоподготовки, в сети данный показатель не превышал 8,1°.

Следует отметить заметно устойчивое низкое содержание в питьевой воде из скважин и разводящей сети показателя мутности, который

за все последние годы не превышает установленный гигиенический норматив (ПДК-2,6 ЕМФ). Отмечен одинаково высокий уровень жесткости воды скважин, а также то, что за исследуемый период ее величина, как правило, находилась на уровне менее 10 мг-экв/л.

Значения сухого остатка воды находятся в пределах оптимальных (250-300 мг/л) величин (макс. – 449,6 мг/л) как в источнике, так и в сети, но всегда ниже установленного гигиенического норматива (1000 мг/л).

С использованием Excel VBA (Visual Basic for Applications) была разработана цифровая аналитическая модель для автоматизации построения графика химического состава подземных вод. Разработанная модель состоит из двух страниц (DATA и PIPEGRAPH) в программе Microsoft Excel. На первой странице DATA (рис. 4) в таблицу вносятся такие данные, как группа (означающая номер скважины или группу скважин), основные катионы и анионы, минерализация (мг/л).

Результаты выводятся автоматически на график на второй странице программы Excel в PIPEGRAPH. График представляет собой диаграмму Пайпера и используется как эффективное графическое представление химического состава проб воды при гидрогеологических исследованиях. На графике учтены процентные значения 6 ионных групп: анионы кальция, магния и натрия плюс катионы калия, а также сульфатные, хлоридные и карбонатные плюс гидрокарбонат-анионы [11-13]. Катионы и анионы показаны двумя отдельными графиками, которые затем проецируются на ромб.

Согласно результатам химического анализа (рис. 5) вода исследуемого региона – сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, пресная, жесткая (жесткость постоянная).

Полученная величина времени фильтрации потенциальных загрязнений через водоупорные юрские глины в турабьевский водоносный подгоризонт составляет (по формуле 1):

$$T_{\text{сут}} = \frac{m_o^2 \times n}{k_o \times \Delta H} = \frac{20^2 \times 0,05}{0,00003 \times 35} = 19048 \text{ сут.} = 52 \text{ года,}$$

что значительно превышает время выживания бактерий в условиях подземного потока – 400 суток (при жестких условиях), а также амортизационный срок службы скважин. Учитывая вышеизложенное, турабьевский водоносный подгоризонт можно считать надежно защищенным от загрязнений сверху.

Group	Site	Bottom Ca ²⁺	Side Na ⁺	DIAMOND Mg ²⁺	DIAMOND K ⁺	DIAMOND SO ₄ ²⁻	DIAMOND CO ₃ ²⁻	DIAMOND Cl ⁻	Bottom HCO ₃ ⁻	Side F ⁻	Bottom TDS, mg/l
3 AW03		27,00	2,00	43,00	4,60	150,00	0,00	8,50	33,00	0,90	269
3 AW04		29,00	2,20	35,00	5,20	140,00	0,00	6,00	26,00	1,00	244
3 AW05		30,00	2,60	37,00	5,60	150,00	0,00	7,70	30,00	0,70	264
3 AW06		22,84	2,43	37,01	6,65	137,86	0,00	6,03	28,82	0,00	242
3 AW07		30,46	3,40	51,04	8,60	143,35	0,00	12,05	64,36	0,00	313
3 AW08		23,00	2,60	56,00	9,00	140,00	0,00	10,00	67,00	0,90	309
3 AW09		20,00	2,70	42,00	8,80	150,00	0,00	7,40	28,00	1,20	260
3 AW10		30,00	1,90	40,00	4,30	132,00	0,00	8,20	51,00	0,00	267
3 AW11		24,00	1,10	36,00	8,20	130,00	0,00	6,60	33,00	1,00	240
3 AW12		18,00	0,70	54,00	6,90	150,00	0,00	7,80	30,00	1,50	269
3 AW13		19,00	0,80	43,00	7,30	130,00	0,00	9,30	28,00	1,30	239
3 AW14		17,00	2,00	40,00	6,10	130,00	0,00	6,90	25,00	1,60	229
3 AW15		19,00	1,50	40,00	7,10	140,00	0,00	6,30	25,00	1,70	241
3 AW16		24,00	1,80	48,00	7,30	150,00	0,00	9,50	31,00	1,70	273
3 AW17		25,00	3,60	48,00	9,70	130,00	0,00	10,00	69,00	1,20	297
3 AW18		21,00	2,70	36,00	7,50	120,00	0,00	6,40	27,00	1,40	222
3 AW19		21,00	4,00	32,00	8,20	120,00	0,00	10,00	35,00	1,40	232
3 AW23		9,60	3,20	58,00	5,90	153,00	0,00	7,40	29,00	0,00	266
3 AW24		9,22	0,97	65,98	6,65	156,16	0,00	8,86	26,90	0,00	275
3 AW25		9,20	3,90	61,00	5,50	166,00	0,00	8,20	33,00	0,00	287
3 AW26		54,91	9,72	100,01	12,90	300,12	0,00	32,97	110,47	0,00	621
3 AW29		41,00	7,50	80,00	9,80	195,00	0,00	23,00	130,00	0,00	486
3 AW30		52,00	22,00	120,00	18,00	314,00	0,00	27,00	168,00	0,00	721
3 AW31		44,89	19,93	110,12	16,81	292,80	0,00	24,11	155,62	0,00	664

Рис. 4. Пользовательское окно страницы DATA для заполнения данных скважин автоматизированной программы отображения химического состава воды
 Fig. 4. Custom window of the DATA page for filling in the well data of the automated program for displaying the chemical composition of water

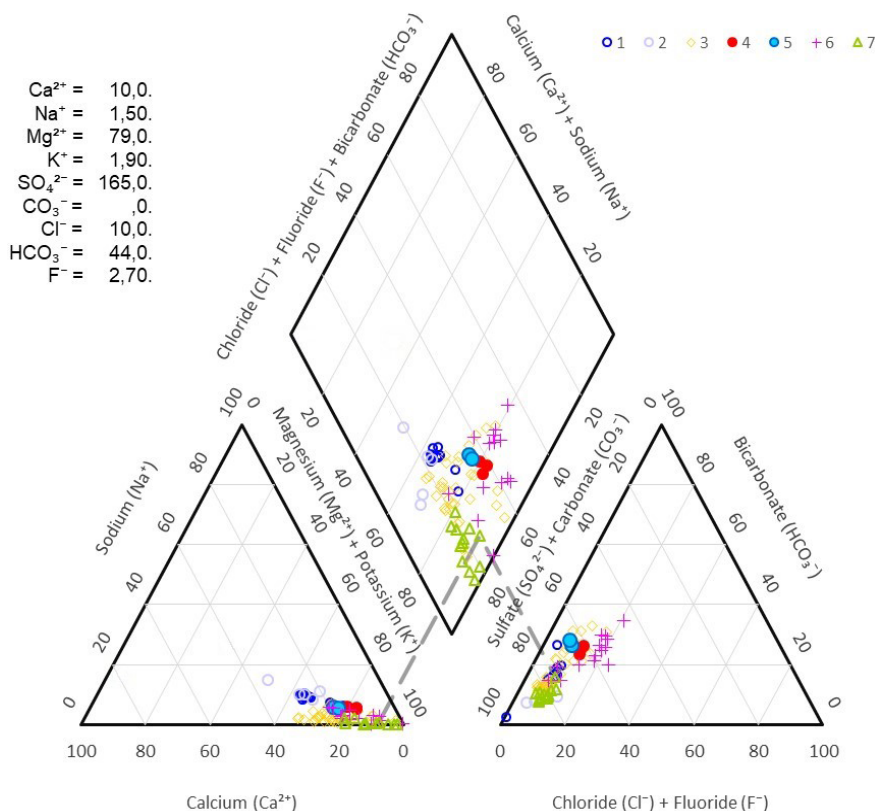


Рис. 5. Графическое представление химического состава подземных вод
 Fig. 5. Graphical representation of the chemical composition of groundwater

Касимовский водоносный горизонт ($C_3\text{ksm}$) развит повсеместно на изучаемой территории. Водовмещающими породами горизонта служат трещиноватые, кавернозные известняки, переслаивающиеся с терригенными глинисто-мергелистыми отложениями.

Были выполнены расчеты степени защищенности подземных вод касимовского водоносного горизонта от возможно потенциально загрязненных вод вышележащих горизонтов [14]:

$$T_{\text{сут}} = \frac{m_o^2 \cdot n}{k_o \cdot \Delta H} = \frac{25^2 \cdot 0,05}{0,00003 \cdot 20} = 52083 \text{ сут.} = 142 \text{ года.}$$

Полученная величина времени фильтрации потенциальных загрязнений через водонепроницаемые щелковские глины в касимовский водоносный горизонт составляет 142 года. Учитывая вышеизложенное, касимовский водоносный горизонт можно считать надежно защищенным от загрязнений сверху.

При расчете 2-го пояса ЗСО время выживания болезнетворных организмов в водоносном пласте, с учетом климатических условий исследуемого района и надежной защищенности целевого водоносного горизонта, следует принять равным 200 суток.

Проектируемая скважина № 1 будет находиться примерно в 290 м от скважины № 3.

Для расчета принимается условие, что артезианские скважины эксплуатируются одновременно, то есть в работе находятся по одной рабочей скважине на каждой площадке.

Расстояние между проектируемой рабочей скважиной № 1 и скважиной № 3 составляет $r_1 = 290$ м; эксплуатационный горизонт – касимовский водоносный горизонт верхнего карбона; водопроницаемость горизонта $K_T = 500 \text{ м}^2/\text{сут.}$, пьезопроводность $a = 104 \text{ м}^2/\text{сутки}$; водоотдача (активная пористость) $\mu = 0,03$; время расчета $t = 25$ лет. Глубина залегания пьезометрического уровня составляет 65 м от поверхности земли (абс. отметка – 85,0 м), глубина залегания кровли водоносного горизонта находится на глубине 80 м от поверхности земли. На рисунке 6 показаны положение скважин в плане и зоны санитарной охраны водозабора. Стрелка показывает направление естественного фильтрационного потока.

Данные цифровой модели представлены в таблице 2.

II пояс ЗСО – зона ограничений по бактериальному загрязнению:

$$R_{\text{бак}} = \sqrt{\frac{1200 \times 200}{50 \times 3,14 \times 0,03}} = 226 \text{ м.}$$

III пояс ЗСО:

$$R_{\text{хим}} = \sqrt{\frac{1200 \times 10000}{50 \times 3,14 \times 0,03}} = 1596 \text{ м.}$$

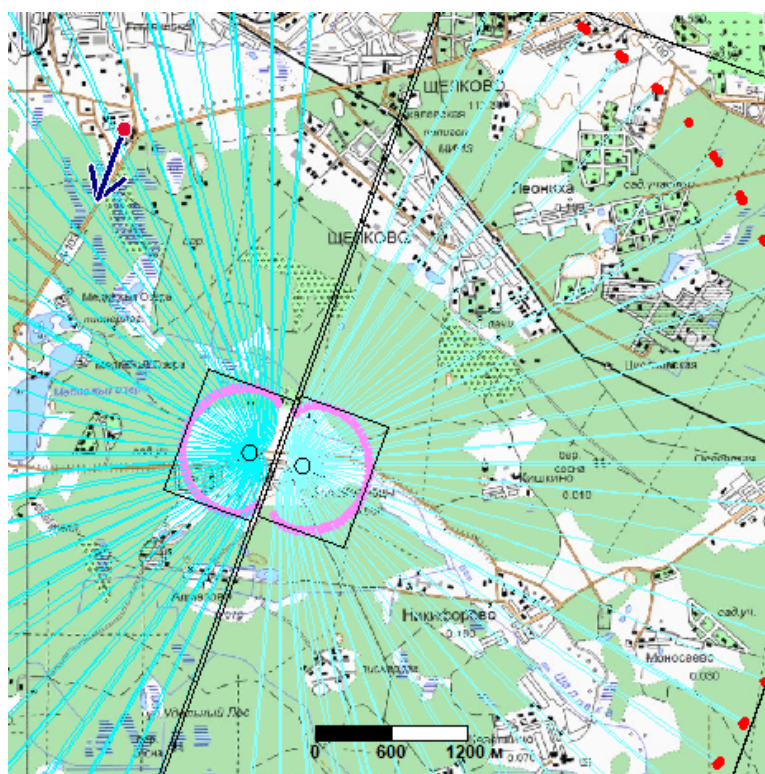


Рис. 6. Положение скважин в плане и границы ЗСО водозабора

Fig. 6. Position of wells in the plan and boundaries of the ZSO water intake

Таблица 2. Некоторые данные модели ЗСО

Table 2. Some data of the ZSO model

Параметр / Parameter	Значение / Value
Область моделирования / Area of modeling	600м × 600м
Координаты модельной области / Coordinates of the modeled area	X1 = 728052; Y1 = 1440580; X2 = 734052; Y2 = 1446580
Градиент естественного фильтрационного потока Gradients of the natural filtration flow	0,003
Направление потока / Direction of the flow	юго-западное / south – west
Установленный в результате моделирования добегания или др. показателя расчетный период ЗСО для второго пояса Established as a result of modeling of runaway or other indicators the ZSO calculation period for the second belt	200 суток 200 days
Время расчета ЗСО для третьего пояса Calculation time of ZSO for the third belt	25 лет 25 years

Выводы

Для оценки химического состава подземных вод были проведены лабораторные исследования. В разработанной программе Microsoft Excel построен график Пайпера. Согласно результатам химического анализа вода исследуемого региона – сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, пресная, жесткая. Производительность каждой скважины составляет 1200 м³/сут. Касимовский водоносный горизонт является на данной территории основным водоносным горизонтом, эксплуатируемым для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Кровля

водоупорных известняков касимовского горизонта залегает на глубине порядка 80 м. Горизонт напорный, статический уровень фиксируется на глубине 65 м, на 15 м выше кровли.

Для проектируемых скважин первый пояс зоны санитарной охраны устанавливается размером 60 × 60 м². Радиус второго пояса зоны санитарной охраны для всех проектируемых скважин устанавливается единым и принимается в виде условной полосы шириной R_{бак.} = 226 м от створа водозабора (линии расположения пар скважин), радиус третьего пояса ЗСО будет составлять R_{хим.} = 1596 м.

Список использованных источников

1. Франовский С.Ю., Турбинский В.В. Оценка опасности фтора воды источников питьевого водоснабжения населения // Высшая школа. Научные исследования: сборник научных статей по итогам работы Межвузовского научного конгресса. М.: Изд-во «Инфинити», 2020. Т. 2. С. 75-83.
2. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983. URL: https://e-ecolog.ru/docs/gbhNHу9МОЕV1eaubnQAE?ysclid=m2d9nkr6dc100196560&utm_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F.
3. Никуленков А.М. Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов / Г.Б. Носков, Н.А. Мозжухина, М.В. Вилькина // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. №. 8. С. 762-768.
4. Синдаловский Л.Н. Гидрогеологические расчеты с использованием программы ANSDIMAT: монография. СПб.: Наука, 2021. 891 с.
5. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. 2002. URL: <https://02.rosпотребнадзор.ru/content/176/19546/?ysclid=m2da3dyfbd137195003>.
6. Theis Ch.V. The relation between the lowering of the piezometric surface // Trans. Amer. Geophys. Union. 1935. Vol. 16, № 2. Pp. 519-524.

References

1. Franovsky S.Yu., Turbinsky V.V. Assessment of the danger of fluorine water sources of drinking water supply of the population // Higher school. Scientific research. Collection of scientific articles on the results of the work of the Interuniversity Scientific Congress. Volume 2. Moscow: Infiniti Publishing House, 2020. P. 75-83.
2. Recommendations for hydrogeological calculations to determine the boundaries of the 2nd and 3rd belts of sanitary protection zones of underground sources of domestic and drinking water supply. Moscow, VNIИ VODGEO Publ., 1983. https://e-ecolog.ru/docs/gbhNHу9МОЕV1eaubnQAE?ysclid=m2d9nkr6dc100196560&utm_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F
3. Nikulenkov A.M. Problems of substantiation of sanitary protection zones of underground water intakes: analysis of the main geological factors / G.B. Noskov, S. N., Mozzhukhina N.A., Vilkina M.V. // Hygiene and sanitation. 2021. V. 100. №. 8. P. 762-768.
4. Sindalovsky L.N. Hydrogeological calculations using the ANSDIMAT program. Monograph. St. Petersburg, Nauka Publ., 2021. 891 p. ISBN978-5-02-040315-4.
5. SanPiN 2.1.4.1110-02. Sanitary protection zones of water supply sources and drinking water pipelines. 2002. <https://02.rosпотребнадзор.ru/content/176/19546/?ysclid=m2da3dyfbd137195003>
6. Theis Ch.V. The relation between the lowering of the piezometric surface. – “Trans. Amer. Geophys. Union”, 1935, vol. 16, pt. 2, p. 519-524.

7. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.: Недра, 1978. 325 с.

8. Jacob C.E. Effective radius of drawdown test to determine artesian well // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1946. Vol. 72, № 5. Pp. 629-646.

9. Cooper H.H., Jacob C.E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history // Transactions, American Geophysical Union. 1946. Vol. 27, № 4. Pp. 526-534.

10. Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Гидрогеоэкологическое обоснование размещения техногенной нагрузки с использованием синтезированных карт естественной защищенности грунтовых вод // Природообустройство. 2020. № 3. С. 114-122.

11. Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 95-101.

12. Карпенко Н.П. Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков // Природообустройство. 2018. № 2. С. 15-22.

13. Гольдберг В.М. Взаимосвязь изменения загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 248 с.

14. Жолдакова З.И., Сеницына О.О., Турбинский В.В. О корректировке требований к зонам санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 11. С. 1192-1197.

Об авторе

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

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ширяева М.А. 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 18.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

7. Mironenko V.A., Shestakov V.M. Theory and methods of interpretation of experimental filtration works. Nedra, 1978. 325 p.

8. Jacob C.E. Effective radius of drawdown test to determine artesian well // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1946. Vol. 72, N5. P. 629-646.

9. Cooper H.H., Jacob C.E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history // Transactions, American Geophysical Union. 1946. Vol. 27, N4. P. 526-534.

10. Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Hydrogeoecological substantiation of the placement of technogenic load using synthesized maps of natural protection of groundwater // Prirodoobustrojstvo. 2020. № . 3. P. 114-122.

11. Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Assessment of the impact of oil production on the quality of water objects in the Perm territory with the application of GIS-technologies // Prirodoobustrojstvo. 2023. № . 1. P. 95-101.

12. Karpenko N.P. Assessment of the geoecological situation of river basins on the basis of attributive indicators and generalized geoecological risks // Prirodoobustrojstvo. 2018. № 2. P. 15-22.

13. Goldberg V.M. Relationship between changes in groundwater pollution and the natural environment. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 248 p.

14. Zholdakova Z.I., Sinityna O.O., Turbinsky V.V. On the correction of requirements for the zones of sanitary protection of sources of centralized economic and drinking water supply of the population // Hygiene and sanitation. 2021. V. 100. № . 11. P. 1192-1197.

About the authors

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

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

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-104-109>

УДК 627.04:532.5



НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА «16 ТИШРИН» В СИРИИ

Х. Исмаил^{1,2}, П.А. Михеев²¹ Сирийская Арабская Республика² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, Б. Академическая ул., 44, Россия

Аннотация. В современных условиях основные проблемы, с которыми сталкиваются правительства многих государств, связаны с нехваткой энергии и дефицитом водных ресурсов. Не исключением является Сирийская Арабская Республика, в которой, по прогнозам специалистов, количество доступной воды сократится к середине текущего столетия примерно вдвое по причине изменения климата и роста населения. Очевидным является то, что устойчивое развитие в различных областях связано с концепцией рационального природопользования, основанной на понимании того, что неисчерпаемых природных ресурсов нет. Отсюда решение проблем водного хозяйства связано с реализацией стратегических задач на основе комплексного подхода к управлению водными ресурсами, разработке новых технологий и технических решений с низкими показателями потребления энергии, подготовки кадров и к применению эффективных методов пропаганды знаний в этой области. Цель исследований – оценка воздействия работы устройства для аэрации придонных слоев воды на физико-химические показатели качества воды в водохранилище «16 Тишрин». В статье приведен анализ результатов применения устройства для аэрации придонных слоев воды, действие которого основано на использовании солнечной радиации в местных условиях. По результатам экспериментальных исследований установлены изменения таких параметров, как водородный показатель (рН), растворенный кислород в воде, температура (С°), мутность и БПК, которые произошли после работы опытной установки для аэрации придонных слоев воды.

Благодарность: авторы благодарят за участие в проведении натуральных экспериментов сотрудников Университета Тишрин Сирийской Арабской Республики: заведующего кафедрой «Инженерной экологии», канд. тех. наук, доцента Саббух Хоссам, доцента кафедры «Инженерии экологических систем» Высшего института экологических исследований, канд. тех. наук Джонида Хусейн, заведующего «Лабораторией инженерной экологии», ст. преподавателя, инженера Маха Зайфа и сотрудника лаборатории, инженера Нисрин Мохаммед.

Ключевые слова: водохранилище, устройство для аэрации, мутность, температура воды, растворенный кислород, водородный показатель

Формат цитирования: Исмаил Х., Михеев П.А. Натурные исследования устройства для аэрации воды водохранилища «16 Тишрин» в Сирии // Природообустройство. 2024. № 5. С. 104-109. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-104-109>

Scientific article

FIELD STUDIES OF THE WATER AERATION DEVICE OF THE «16 TISHRIN» RESERVOIR IN SYRIA

H. Ismaeil, P.A. Mikheev

¹ Syrian Arab Republic² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127474, B. Akademicheskaya, 44, Russian Federation

Abstract. In modern conditions, the main problems faced by the governments of many states are related to the lack of energy and shortage of water resources. The Syrian Arab Republic is no exception, where experts predict that the amount of available water will decrease by about half by the middle of this century due to climate change and population growth. It is obvious that sustainable development in various fields is linked to the concept of rational environmental management, based on the understanding that there are no inexhaustible natural resources. In this regard, solving the problems of water management is associated with the implementation of strategic objectives based on an integrated approach to water resources management, the development of new technologies

and technical solutions with low energy consumption, training and the use of effective methods to promote knowledge in this area. The purpose of the research is to assess the impact of the operation of the device for aeration of bottom water layers on the physical-chemical indicators of water quality in reservoir 16 Tishrin. The article presents an analysis of the results of using a device for aeration of bottom water layers, the action of which is based on the use of solar radiation in local conditions. According to the results of experimental studies, changes in parameters such as hydrogen index (pH), dissolved oxygen in water, temperature (C°), turbidity and BOD, which occurred after the operation of the experimental installation for aeration of bottom water layers, were established.

Gratitude: the authors thank the employees of the University Tishrin of the Syrian Arab Republic for the participation in carrying out field experiments: head of the department "Engineering ecology", candidate of technical sciences, associate professor Sabbukh Hussam, associate professor of the department "Engineering of ecological systems" of the Higher institute of ecological investigations, candidate of technical sciences Juniedi Hussien, head of the "Laboratory of engineering ecology", senior lecturer, engineer Maha Zaifa and employee of the laboratory, an engineer Nisreen Mohammed.

Keywords: reservoir, aeration device, turbidity, water temperature, dissolved oxygen, hydrogen index

Format of citation: Ismaeil H., Mikheev P.A. Field studies of water the aeration device of the «16 Tishrin» reservoir in Syria // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 104-109. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-104-109>

Введение. Одними из путей улучшения качества воды при использовании поверхностных источников в Сирийской Арабской Республике (САР) являются применение современных конструкций и технологий в области очистки воды, проектирование и строительство инженерных сооружений водного хозяйства [1]. Объект исследований – водохранилища западных провинций САР. Климат региона характеризуется как теплый, сухой, с ясной погодой летом и прохладной, влажной, ветреной, часто облачной зимой. Работа является продолжением серии экспериментальных исследований, выполненных авторами для водохозяйственных объектов Сирии [2-5], а также по оценке работоспособности устройства для аэрации придонных слоев воды водохранилищ, основанного на использовании солнечной энергии [6]. Следует отметить, что известны работы по исследованию аэрации [7, 8] и аэрационных установок для очистки водоемов, в том числе с использованием солнечных батарей [9, 10], однако рассматриваемая ниже конструкция основана на иных принципах использования солнечной радиации.

Цель исследований: оценка воздействия работы устройства для аэрации придонных слоев воды на физико-химические показатели качества воды в водохранилище «16 Тишрин».

Материалы и методы исследований. Устройство для аэрации придонных слоев воды, в соответствии с патентом на полезную модель [6], включает в себя емкость-накопитель, в верхней части которого размещен обратный клапан, а снизу – трубка-воздухопровод, по которой воздух при нагревании емкости-накопителя в дневное время поступает в придонный слой

воды, обогащая кислородом наиболее обедненный слой водоема. В ночное время воздух в емкости-накопителе охлаждается, давление в полости снижается ниже атмосферного, при котором открывается обратный клапан, и атмосферный воздух заполняет полость емкости-накопителя. В последующем цикл «День-ночь» повторяется.

Натурным исследованиям предшествовали лабораторные эксперименты, выполненные в сентябре-октябре на открытой площадке в г. Кирсана на модели устройства для аэрации придонных слоев воды [5]. Натурный эксперимент проводился в октябре 2023 г. на водохранилище «16 Тишрин», которое расположено в провинции Латакия, примерно в 20 км к северо-востоку от г. Кирсана, с использованием той же экспериментальной установки. Таким образом, климатические характеристики объектов исследований в лабораторных и натуральных опытах были одинаковыми.

Устройство для аэрации придонных слоев воды было установлено на водохранилище «16 Тишрин» в месте размещения водозабора для подачи воды на водоснабжение, на расстоянии примерно в 22 м от водозабора и в 14 м от берега водохранилища. Экспериментальная установка размещалась на алюминиевой эстакаде с опорами, погруженными в дно водоема, обеспечивающей свободный доступ к зоне выхода воздуха из трубки-воздуховода на глубине 1,5 м от поверхности воды (рис. 1).

За основные критерии оценки качества воды приняты: водородный показатель, *pH*; растворенный кислород, мг/л; температура, C°; мутность, мг/л; биохимическое потребление

кислорода (БПК), мг/л. Показатели фиксировались с помощью комплекса приборов, представленного на рисунке 2, а также с использованием необходимого оборудования, реактивов, емкостей для взятия, транспортирования и хранения проб.

Для определения *величины pH* и измерения *температуры воды* использовался *pH-метр «EZODO PCT-407»* (рис. 2, а) – малогабаритный

автономный микропроцессорный прибор для измерения *pH*, ОВП, температуры, электропроводности, содержания солей. Диапазон измеряемых параметров достаточно широк: *pH* (от 0 до 14) с точностью ± 0.01 ; температура (от 0 до 110°C) с точностью $\pm 0.2^\circ\text{C}$. Температура воды в водохранилище измерялась в зоне выхода воздуха на глубине 1,3 м.

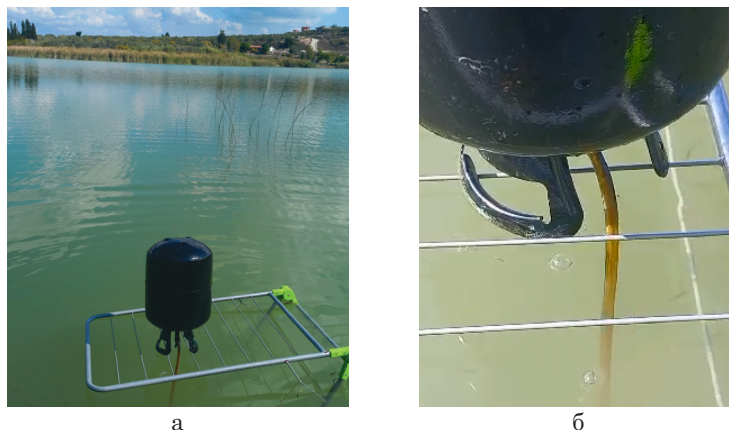


Рис. 1. Компоновка экспериментальной установки в условиях водохранилища «16 Тишрин»: 0а – общий вид установки; б – выход пузырьков воздуха

Fig. 1. Layout of the pilot unit in the conditions of the water reservoir «16 Tishrin»: a – general view of the plant; b – air bubbles outlet



Рис. 2. Приборы и оборудование для измерения параметров воды в натуральных условиях водохранилища «16 Тишрин»:

а – *pH-метр «EZODO PCT-407»*; б – *мутномер «HACH 2100P Turbidimeter»*;

в – *оксиметр «Oxi 315»*; г – *головка системы «OxiTop» для измерения БПК*

Fig. 2. Instrumentation and equipment for measuring water parameters in the field conditions of the of the water reservoir «16 Tishrin»

а – *pH-метр «EZODO PCT-407»*; б – *turbidimeter «HACH 2100P Turbidimeter»*;

с – *oximeter «Oxi 315»*; d – *head of the system «OxiTop» for measuring BOD*

Измерение мутности производилось в соответствии с ГОСТ 31861-2012 [11], которым устанавливаются общие требования к отбору, подготовке, транспортированию и хранению проб воды, предназначенных для определения показателей ее состава и свойств. Пробы воды для измерения мутности отбирались в стеклянные емкости с плотно завинчивающимися пробками. Объем пробы – 500 см³. Анализ проводился в лаборатории «Инженерной экологии» Университета Тишрин с помощью мутномера «НАСН 2100Р Turbidimeter» (рис. 2, б). В хорошо перемешанной пробе выполнялись измерения в соответствии с инструкциями изготовителя прибора, не позднее, чем через 6 ч после отбора проб.

Растворенный кислород является устойчивым параметром, так как его концентрация зависит от многих показателей, важнейший из которых – температура воды, поэтому измерения производились с помощью оксиметра «Охі 315і» (рис. 2, в) непосредственно на глубине 1,3 м от поверхности воды в области выхода пузырьков из трубки-воздуховода. Диапазон измеряемых параметров прибором: растворенный кислород (от 0 до 19.99) мг/л с погрешностью ±0.5%, температура (от –5.0 до +50°C) с погрешностью ±0.1.

Измерение концентрации БПК производилось измерительной системой «ОхіТор» (рис. 2, г), основанной на расчете разницы величины давления воздуха, попавшего в закрытый сосуд до и после инкубации при температуре (20°C), с применением передовых методик измерения разницы давлений, использованием ингибиторов азотирования и материалов для поглощения газа СО₂, образующегося в процессе окисления органических веществ.

Для сопоставимости результатов опытов все измерения были произведены с трехкратным повтором 20, 21 и 22 октября 2023 г. при температуре воздуха +30°C и влажности 65%, в одно и то же время: в 10:00 утра перед началом работы устройства и в 13:00 после его использования. Пробы брались в одной точке из зоны активного выхода пузырьков воздуха на глубине 1,3 м от поверхности воды.

В проведении опытов, взятии проб воды и обработке полевых экспериментов принимали участие сотрудники Лаборатории инженерной экологии, кафедры инженерной экологии факультета гражданского строительства Университета Тишрин в провинции Латакия САР. Применение методики исследований, взятие проб воды и обработка полевых материалов выполнялись в соответствии с ГОСТ Р 58556-2019 [12]. Исследования в Лаборатории инженерной экологии

факультета гражданского строительства Университета Тишрин проводились согласно нормативной базе САР, которая разработана в полном соответствии с определенными стандартами РФ.

Результаты и их обсуждение. В ходе натурального эксперимента и при проведении анализа опытов оценивались как работоспособность конструкции, так и изменения измеряемых показателей качества воды, произошедшие в процессе работы устройства.

Прежде всего была дана оценка процесса работы устройства и его основных технических показателей. В ходе исследований в целом получили подтверждение данные лабораторных опытов в части активности включения в работу после установки устройства, периодичности процесса и количественных закономерностей выхода воздуха. При установившихся показателях дневной температуры в начале эксперимента наблюдался период интенсивного выхода воздуха из устройства в воду, затем – переходный, с постепенным снижением интенсивности, и период стабилизации [5]. Однако в отличие лабораторного эксперимента процесс выхода воздуха в природных условиях выражен несколько более равномерно по интенсивности, что сказалось на его продолжительности. При этом визуально активный период определен как равный 120 мин.

Для оценки качественных показателей работы устройства при аэрации воды использовались результаты лабораторных исследований взятых проб. Сводные данные результатов исследований по оценке показателей качества воды перед началом работы и после использования устройства для аэрации приведены в таблице.

Как следует из данных таблицы, работа исследуемого устройства оказала положительное влияние на все измеряемые в ходе опытов физико-химические показатели воды. Так, незначительные изменения температуры воды связаны с возросшей вертикальной циркуляцией, вызванной восходящими пузырьками воздуха от работы устройства.

Изменение мутности свидетельствует о наличии в воде водохранилища загрязняющих веществ органического происхождения, так как в процессе аэрации кислород воздуха потребляется бактериями для разложения органических соединений и преобразования их в углекислый газ и воду, снижая мутность воды в водоемнике [13].

Распределение содержания растворенного кислорода в воде зависит от глубины и снижается от поверхностной горизонтальной части пруда до придонной части. Непосредственно

Таблица. Сравнение физико-химических показателей воды в начале и в конце использования устройства для аэрации
Table. Comparison of the physical and chemical parameters of water at the beginning and at the end of the use of the aeration device

Дата опыта Date of the experiment	Температура воды, (°C) Temperature of water, (°C)		Мутность, (мг/л) Turbidity (mg / l)		Растворенный кислород, (мг/л) Dissolved oxygen (mg / l)		БПК, (мг / л) BOD (mg / l)		рН	
	До Before	После After	До Before	После After	До Before	После After	До Before	После After	До Before	После After
20.10.2023	25	23	20	5	4,5	6,5	7,0	4,5	7,5	7,7
21.10.2023	24	22	23	5,7	4	5,8	8,0	5,4	7,2	7,3
22.10.2023	24	23	21	5,5	4,3	6,0	7,6	5,0	7,3	7,5

у поверхности концентрация может быть несколько выше, что обусловлено фотосинтезной активностью. Также летом на глубинах, где прослеживается зона кислородного минимума, обнаруживаются большие скопления зоопланктона, потребляющего кислород в процессе метаболизма, что приводит к уменьшению концентрации растворенного кислорода в воде в придонных горизонтах.

Из данных таблицы следует, что концентрация растворенного кислорода в воде в зоне взятия проб повысилась на 40-45% после использования устройства в течение всего 3 ч и достигла значений, необходимых для водоемов рыбохозяйственного назначения 6 мг/л [14]. Это свидетельствует об эффективности устройства в обогащении придонных слоев воды растворенным кислородом.

На влияние работы устройства для аэрации придонных слоев воды в водохранилище указывают и изменения показателей *БПК* и *рН*. Так, несмотря на то, что класс водохранилища по показателю *БПК₅* (более 4,0 мгО₂/дм³) оценивается

как «грязные» [15], снижение в ходе опыта концентрации *БПК* в среднем на 35% (табл. 1) свидетельствует о положительной динамике процесса насыщения воды кислородом.

Выводы

В результате натурных исследований выявлено, что работа опытной установки для аэрации придонных слоев воды показала возможности эффективного воздействия на изменение основных физико-химических показателей качества воды в условиях водохранилища «16 Тишрин» в Сирии. Установлено, что за время работы опытной установки в течение 180 мин концентрация растворенного кислорода в воде в зоне взятия проб повысилась на 40-45%, температура воды снизилась на 1-2°C, мутность уменьшилась почти на 75,0%, концентрация *БПК* снизилась на 35%, незначительно изменился водородный показатель (*рН*).

Таким образом, доказана перспективность разработки и исследований устройств для аэрации придонных слоев воды на основе использования солнечной радиации.

Список использованных источников

1. **Mohammad H. & Garaa L.** Analyzing the reality of the water resources sector in Syria using an analysis SWOT. Conference of modern technologies in the design and construction of engineering facilities // In SWOT Analysis for Water Resources Sector in Syria. Homs. 2017. Pp. 1-16.
2. **Михеев П.А., Саббух Х.Ш., Исмаил Х.** О возможностях подготовки питьевой воды из поверхностных источников Сирии // Природообустройство. 2022. № 1. С. 93-101.
3. **Исмаил Х.** Об устройстве для аэрации придонных слоев воды в условиях Сирии // Наука и глобальные вызовы: перспективы развития: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции. Саратов: НОП «Цифровая наука», 2024. С. 17-22.
4. **Исмаил Х., Михеев П.А.** Особенности гидрохимического режима водохранилищ западных провинций Сирии // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 2. С. 8-12.
5. **Исмаил Х., Али М.С., Михеев П.А.** Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 128-138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>

References

1. **Mohammad H. & Garaa, L** Analyzing the reality of the water resources sector in Syria using an analysis SWOT. Conference of modern technologies in the design and construction of engineering facilities. In SWOT Analysis for Water Resources Sector in Syria. Homs. 2017. pp. 1-16.
2. **Mikheev P.A., Sabbukh H.S., Ismaeil H.** On the possibilities of preparing drinking water from surface sources in Syria. // Prirodoobustrojstvo, 2022. (1), P. 93-101.
3. **Ismaeil H.** About the device for aeration of bottom water layers in the conditions of Syria / Science and global challenges: perspectives of development: collection of articles of the IV International scientific and practical conference. Saratov: NOP "Digital science". 2024. P. 17-22.
4. **Ismaeil H., Mikheev P.A.** Features of the hydrochemical regime of reservoirs in the western provinces of Syria // Melioration and water management, 2024. No. 2. P. 8-12.
5. **Ismaeil H., Ali M.S., Mikheev P.A.** Laboratory studies of a device for aeration of reservoirs using solar radiation in the conditions of Syria // Melioration and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14, No. 2. pp. 128-138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>

6. Устройство для аэрации придонных слоев воды: Патент на полезную модель № 214200 U1. Российская Федерация, МПК C02F 7/00, B01F 23/231 / В.В. Петрашкевич, П.А. Михеев, Д.М. Бенин, Исмаил Х.А.А., Петрашкевич А.В., Мунтяну Д. Заяв. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». № 2022112382; заявл. 06.05.2022; Опубл. 14.10.2022. EDN: GSPJDW.

7. Савушкин С.С., Давшан С.М. Улучшение качества воды в открытых водоемах за счет использования систем аэрации // Природообустройство. 2009. № 2. С. 39-42.

8. Помогаева В.В., Пурусова И.Ю. Интенсификация работы струйных аэраторов при насыщении воды атмосферным кислородом // Электротехнические комплексы и системы управления. 2006. № 2. С. 48-50. EDN: JUFMKD.

9. Виссарионов В.И., Лазарев-Марченко С.А., Кунакин Д.Н. Применение плавучих аэрационных установок с питанием от солнечных батарей для очистки водоемов // Гидротехническое строительство. 2007. № 12. С. 15-21.

10. Лазарев-Марченко С.А., Виссарионов В.И. Мобильная аэрационная установка с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. № 3 (47). С. 64-66.

11. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2019. 32 с.

12. ГОСТ Р 58556-2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044750> (дата обращения: 05.01.2024).

13. Azanaw A., Birlie B., Teshome B. & Jemberie M. Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2022. Vol. 6. December. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100230>

14. Пономарев А.Я. Растворенный кислород как важнейший биогеохимический показатель качества воды // Научный альманах. 2015. № 12-2 (14). С. 146-149.

15. Al-Kubaisi M.H., Al-Heety E.A. & Yousif Y.M. Application of organic indicators and overall index to assess the level of water pollution in Habbaniyah lake, Iraq // The Iraqi Geological Journal. 2021. Vol. 54, № 2A. Pp. 93-102. <https://doi.org/10.46717/igj.54.2A.7Ms-2021-07-28>

Об авторах

Хуссейн Исмаил, аспирант; huseinismaeil93@gmail.com

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

6. Utility Model Patent No 214200 U1 Russian Federation, IPC C02F 7/00, B01F 23/231. Device for aeration of bottom layers of water: / V.V. Petrashkevich, P.A. Mikheev, D.M. Benin, Ismail H.A.A., Petrashkevich A.V., Munteanu D.; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy". No 2022112382; applic. 06.05.2022; publ. 14.10.2022. EDN GSPJDW

7. Savushkin S.S., Davshan S.M. Improvement of water quality in open reservoirs through the use of aeration systems // Prirodoobustrojstvo, (2), 2009. P. 39-42.

8. Pomogaeva V.V. Intensification of the work of jet aerators when water is saturated with atmospheric oxygen / V.V. Pomogaeva, I.Y. Purusova // Electrical engineering complexes and control systems. 2006. No. 2. P. 48-50. – EDN JUFMKD.

9. Vissarionov V.I. The use of floating aeration plants powered by solar panels for cleaning reservoirs / V.I. Vissarionov, S.A. Lazarev-Marchenko D.N. Kunakin // Hydrotechnical construction: monthly scientific and technical journal / Ministry of Energy of the Russian Federation; RAO UES of Russia. Moscow. 2007. No. 12. P. 15-21. ISSN0016-9714.

10. Lazarev-Marchenko S.A. Mobile aeration plant powered by solar photovoltaic batteries / S.A. Lazarev-Marchenko V.I. Vissarionov // Energy saving and water treatment. 2007. No. 3(47). P. 64-66. ISSN1992-4658.

11. GOST 31861-2012 Water. General requirements for sampling. Moscow: Standartinform. 2019. – 32 p.

12. GOST R58556-2019 Assessment of water quality of water bodies from ecological positions – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200044750> (date of application: 05.01.2024).

13. Azanaw A., Birlie B., Teshome B., & Jemberie M. Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. Volume 6, December 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100230>

14. Ponomarev A.Ya. Dissolved oxygen as the most important biogeochemical indicator of water quality. Scientific almanac. 2015. No. 12-2(14). P. 146-149.

15. Al-Kubaisi M.H., Al-Heety E.A., & Yousif Y.M. Application of organic indicators and overall index to assess the level of water pollution in Habbaniyah lake, Iraq. The Iraqi Geological Journal. Vol. 54, № 2A, 2021. pp. 93-102. <https://doi.org/10.46717/igj.54.2A.7Ms-2021-07-28>

Information about the authors

H. Ismaeil, postgraduate student; huseinismaeil93@gmail.com

Pavel A. Mikheev, DSc (Eng), professor, head of the department; AuthorID: 632792, <https://orcid.org/0000-0003-2041-1790>; mikheev.pa@gmail.com

Критерии авторства / Criteria of authorship

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

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.08.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.10.2024

Ismaeil Hussein, P.A. Mikheev carried out field investigations, on the results of their treatment they wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

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

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-110-118>

УДК 630*232.4(212.3)



ВЛИЯНИЕ МЕСТА ПОСАДКИ В МИКРОПОВЫШЕНИЯХ НА РОСТ КУЛЬТУР СОСНЫ И ЕЛИ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ

А.С. Ильинцев^{1,2}, Е.Н. Наквасина^{1,2}, А.П. Богданов^{1,2}

¹ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ); 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, 13, Россия

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ); 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17, Россия

Аннотация. Повышение эффективности создания лесных культур является актуальным аспектом искусственного лесовосстановления. Соответствующая обработка почвы и выбор посадочного места позволяют повысить качество культур. Цель исследований – проанализировать влияние места посадки в микроповышениях, созданных экскаватором, на биометрические показатели саженцев сосны и ели для разработки регламента подбора расположения сеянцев в посадочных местах при создании лесных культур в таежной зоне. В ходе обследования были инвентаризированы 32 лесокультурные площади разного возраста (1-10 лет) на территории Архангельской области и Республики Коми. Лесные культуры были созданы сеянцами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. x *P. obovata* (Ledeb.)) с закрытой и открытой корневой системой. Обработка почвы произведена путем создания микроповышений с помощью экскаваторов. На лесокультурных площадях провели детальную оценку роста сосны и ели (около 2 тыс. шт.), посаженных в разные места в пределах микроповышения, с измерением высоты, диаметра стволика на уровне поверхности почвы и прироста по высоте за последние 1-3 года. Результаты исследований показывают, что в первые годы после посадки рост сосны и ели не зависит от расположения посадочного места в микроповышении: «у ямы» (повышенная часть микроповышения), «центр», «от ямы» (пониженная часть микроповышения). Различия в росте начинают сказываться к 6-7 годам. Лучшие показатели высоты, диаметра у шейки корня и среднего прироста по высоте за 1-3 года отмечаются у сеянцев, посаженных в центре микроповышения, а наименьшие – посаженных в край, у ямы, образующейся при захвате почвы ковшом.

Благодарности. Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства. Регистрационный номер темы: 122020100319-9.

Ключевые слова: обработка почвы, экскаваторы, микроповышения, посадочное место, лесные культуры, биометрические показатели

Формат цитирования: Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н., Богданов А.П. Влияние места посадки в микроповышениях на рост культур сосны и ели в таежной зоне // Природообустройство. 2024. № 5. С. 110-118. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-110-118>

Original article

INFLUENCE OF PLANTING SITE IN MICROELEVATIONS ON THE GROWTH OF PINE AND SPRUCE CROPS IN THE TAIGA ZONE

A.S. Ilintsev^{1,2}, E.N. Nakvasina^{1,2}, A.P. Bogdanov^{1,2}

¹Northern Research Institute of Forestry (SevNIILH); 163062, Arkhangelsk, Nikitova str., 13, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU); 163002, Arkhangelsk, Naberezhnaya Severnoy Dviny str., 17, Russia

Abstract. Increasing the efficiency of the creation of forest crops is an important aspect of artificial reforestation. Appropriate tillage and planting site selection can improve crop quality. The purpose

of this study was to analyze the influence of the planting site in the mounds created by the excavator on the biometric indicators of pine and spruce seedlings to develop regulations for the selection of the location of seedlings in planting sites when creating forest crops in the taiga zone. In the course of the survey, 32 forest cultivation areas of different ages (1-10 years) in the Arkhangelsk Region and the Komi Republic were inventoried. Forest crops were created by seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst. x *P. obovata* (Ledeb.)) with closed and open root systems. Soil cultivation was carried out by creating micro-elevations with the help of excavators. A detailed assessment of the growth of pine and spruce (about 2 thousand pieces) planted in different places within the micro-elevation was carried out on the forest cultivation areas, with the measurement of height, trunk diameter at soil surface level and height growth over the past 1-3 years. The results of the study show that in the first years after planting, the growth of pine and spruce does not depend on the location of the planting place in the microelevation: "at the pit" (increased part of the microelevation), "center", "from the pit" (reduced part of the microelevation). Differences in height begin to affect by the age of 6-7 years. The best indicators of height, diameter at the root neck and average height gain for 1-3 years are observed in seedlings planted in the center of the microelevation, and the lowest – in the edge, at the pit formed when the soil is captured by a bucket.

Gratitude. The publication was prepared based on the results of research carried out within the framework of the state assignment of the FBU "SevNIILH" to conduct applied scientific research in the field of activities of the Federal Forestry Agency. Subject registration number: 122020100319-9.

Keywords: soil tillage, excavators, mounds, planting place, forest crops, biometric indicators

Format of citation: Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Bogdanov A.P. Influence of planting site in microelevations on the growth of pine and spruce crops in the taiga zone // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 110-118. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-110-118>

Введение. Улучшение эффективности и качества лесокультурных работ является актуальным аспектом искусственного лесовосстановления в таежных лесах [1, 2]. Успешность лесовосстановления посадкой зависит от правильно обработанной почвы и выбора подходящего посадочного места для посадки семян. При создании лесных культур в таежной зоне используют посадочный материал с открытой (ОКС) и закрытой корневой системой (ЗКС). В течение первых 2-3 лет после посадки сеянцы сосны и ели с ЗКС имеют лучший первоначальный прирост, но после эта разница снижается [3], что связано со способами обработки почвы, условиями увлажнения, размерами посадочного материала и другими факторами [4, 5].

В современных условиях широко распространена практика посадки сеянцев хвойных пород в точечные (дискретные) микроповышения, которые в основном подготавливаются с использованием экскаваторов [6-8]. В таежной зоне Европейского Севера до 44% площадей под лесные культуры обрабатывают с помощью экскаваторов (полосами и микроповышениями). Использование подобной технологии обработки почвы не только обеспечивает хорошую приживаемость сеянцев, но и позволяет максимально сохранить подрост предварительной генерации [8].

Создание микроповышений является эффективной мерой для улучшения условий произрастания сеянцев [9]. При подготовке точечных

микроповышений перекопанную почву укладывают перевернутой на ненарушенную почву рядом с ямой, образуя двойной гумусовый слой под минеральной почвой. Питательные вещества, выделяющиеся при разложении погребенной лесной подстилки, благоприятно влияют на рост посадочного материала [10]. Изменяются физические свойства, влажность, температура почвы и доступность азота из гумусового слоя в микроповышении, которые влияют на последующий рост сеянцев после посадки [11].

С другой стороны, в микроповышениях может наблюдаться низкая влажность почвы в сухих типах леса, поскольку органический слой внутри них уменьшает капиллярный поток воды снизу [12-14]. Кроме того, различия в типе почв, наличие крупных камней, пней и порубочных остатков на сплошной вырубке могут повлиять на качество обработки почвы [15].

При создании микроповышений экскаватором их качество и размеры могут варьировать. Размеры микроповышений очень часто зависят от опыта экскаваторщика и навесного оборудования, используемого для обработки почвы. Производители экскаваторов, которые часто используются на обработке почвы, предлагают для них ковши с рабочей шириной захвата от 60 до 150 см. Объем таких ковшей обычно составляет от 0,5 до 1,5 м³. Таким образом, в зависимости от характера работ и навесного оборудования можно подобрать оптимальный вариант ковша.

В таежной зоне начаты современные исследования по оценке качества микроповышений, и особенно полевых характеристик лесных культур, в микроповышениях, подготовленных с помощью экскаваторов [7]. Микроповышения предполагают несколько альтернативных посадочных мест для семян, подходящих для различных лесорастительных условий. Учитывая размеры микроповышений и количество создаваемых микроповышений на 1 га, подготовленных ковшем экскаватора, на одно микроповышение можно высаживать от 1 до 4 семян с ЗКС и более 4 семян с ОКС в расчете на нормативную густоту. Большое количество семян, посаженных на одно микроповышение, может отрицательно сказаться на их развитии и росте. Необходимо оценить размещение семян в посадочном месте (по числу семян, по размещению в пределах микроповышения).

Цель исследований: проанализировать влияние места посадки в микроповышениях, созданных при использовании экскаватора, на биометрические показатели саженцев сосны и ели для разработки регламента подбора расположения семян в посадочных местах при создании лесных культур в таежной зоне.

Материалы и методы исследований. Изученные лесные культуры (32 лесокультурные площади) созданы в период 2013-2022 гг. (возраст 1-10 лет) на территории Архангельской области и Республики Коми (Двинско-Вычегодский таежный район), с различной представленностью по типам леса исходных насаждений (табл. 1), как правило 1-2 летним посадочным материалом с закрытой корневой системой. Площадь участков составляла от 4,3 до 42,5 га.

Лесокультурные площади представлены наиболее распространенными типами леса (Е дм, Е кис, Е тр, Е чер, С бр, С дм, С кис, С чер) с подзолистыми почвами (типичные, глее-подзолистые), с разной степенью оподзоливания и гранулометрическим составом (песчаные, супесчаные, легкосуглинистые, среднесуглинистые).

Обработка почвы на лесокультурных площадях производилась чаще летом, одновременно с посадкой, реже – осенью, за год до посадки, дискретным способом с помощью экскаватора с объемом ковша 0,8-1,0 м³. Микроповышения шириной в среднем 1,1 м (от 0,6 до 1,6 м) и длиной 1,3 м (от 0,9 до 2,2 м) создавали через 1,0-2,5 м. Количество создаваемых микроповышений варьировало в широком диапазоне от 440 до 1100 шт/га (в среднем 680 на 1 га). При создании микроповышения ковш экскаватора создает небольшую яму (в месте захвата почвы) и насыпь со скошенной поверхностью.

Лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)) были созданы с использованием посадочных труб Pottiputki для семян с ЗКС и меча Колесова для семян с ОКС.

При посадке лесных культур сеянцами с ЗКС количество высаживаемых растений составило не менее 2,0 тыс. шт. на 1 га. На одно микроповышение высаживали 2-3 сеянца. Лесные культуры, созданные посадкой семян с ОКС, имели густоту не менее 3 тыс. на 1 га. В одно микроповышение высаживали от 4 до 5 семян. Приживаемость (сохранность) лесных культур на момент обследования составила для 1-2 летних культур 72,2-90,2%, а для 9-10 летних культур – 40,1-67,3%.

Таблица 1. Характеристика обследованных лесокультурных площадей

Table 1. Characteristics of the surveyed forest-cultivated areas

Показатель <i>Indicator</i>	Лесные культуры сосны <i>Pine forest crops</i>	Лесные культуры ели <i>Spruce forest crops</i>
Всего площадей, шт. / <i>Total forest-cultivated areas, pcs.</i>	16	16
В том числе с посадочным материалом ЗКС <i>Including with the planting material a containerised root system</i>	16	11
с посадочным материалом ОКС <i>with planting material and a bare root system</i>	-	5
В том числе по типам леса насаждений до рубки / <i>Including by forest type before cutting</i>		
Сосняк черничный / <i>Pineta myrtillosum</i>	4	-
Сосняк брусничный / <i>Pineta vaccinosum</i>	2	-
Сосняк кисличный / <i>Pineta oxalidosum</i>	4	-
Сосняк долгомошный / <i>Pineta polytrichosa</i>	1	-
Ельник черничный / <i>Piceeta myrtillosum</i>	2	10
Ельник кисличный / <i>Piceeta oxalidosum</i>	2	3
Ельник травяной / <i>Piceeta herbosum</i>	1	1
Ельник долгомошный / <i>Piceeta polytrichosa</i>	-	2

На участках провели детальную оценку состояния и роста высаженных сеянцев сосны и ели по 20 шт. в разных местах расположения посадочных мест в микроповышении – таких, как «у ямы» (повышенная часть микроповышения), «центр», «от ямы» (пониженная часть микроповышения) (рис. 1).

У живых растений измеряли следующие биометрические показатели: высота – от поверхности почвы до верхушечной почки, см, и средний прирост по высоте за последние 1-3 года, см, с помощью мерной рулетки; диаметр стволика на уровне поверхности почвы, см, с помощью штангенциркуля. Всего было детально изучено около 2 тыс. особей сосны и ели разного возраста.

Для установления влияния места посадки на биометрические показатели культур сосны и ели применили дисперсионный непараметрический анализ Крускала-Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA). После получения статистически значимого результата в дисперсионном анализе провели множественные сравнения (Post-hoc analysis) средних рангов для всех групп. Алгоритм заключался в попарном сравнении средних рангов всех групп, включенных в дисперсионный анализ в пределах одного возраста культур. Сравнение данных выполнили на уровне 0,05 значимости в программе Statistica 12.

Результаты и их обсуждение. Результаты дисперсионного анализа показывают (табл. 2), что высота посаженных сеянцев сосны и ели (рис. 2) в культурах старшего возраста в большинстве случаев зависит от места посадки ($H = 8,10-12,78$; $p = 0,002-0,017$). Отсутствуют достоверные различия в высоте сеянцев сосны и ели ОКС и ЗКС между разными местами посадки на 1-4-летних лесокультурных

площадях ($H = 0,67-5,46$; $p = 0,065-0,713$), проявляясь в более старшем возрасте. Сеянцы с ЗКС в первые годы после посадки используют питательные вещества кома субстрата, а их корни не стремятся выходить за его пределы [16]. Для сеянцев ОКС, которые сразу после посадки зависят от почвенных условий посадочного места, образующихся в микроповышениях, отсутствие достоверных различий в высоте сеянцев в первые годы после посадки может быть связано с послепосадочной адаптацией. Рост сеянцев с ОКС связан с качеством посадочного материала и развитием корневой системы сеянцев [3].

Наибольшие достоверные различия в высоте сеянцев сосны с ЗКС между центром и краем микроповышения (у ямы) отмечаются в 3-9-летних культурах ($H = 6,52-11,63$; $p = 0,003-0,038$). Сеянцы сосны, посаженные в центр микроповышения, на 24-115% выше сеянцев, посаженных у ямы. С другой стороны, отсутствуют достоверные различия в высоте между сеянцами, посаженными в центр и край микроповышения (от ямы) ($H = 0,95-2,31$; $p = 0,061-1$).

В еловых культурах сеянцы, посаженные в центр микроповышения, выше на 31-94% по сравнению с сеянцами, посаженными у ямы ($H = 2,73-3,54$; $p = 0,001-0,019$). При этом статистические значимые различия в высоте сеянцев между центром и краем микроповышения (от ямы) также отсутствуют ($H = 0,62-1,42$; $p = 0,464-1$).

На свежих лесокультурных площадях (1-4 года), созданных сосной и елью (рис. 3), отсутствуют достоверные различия в диаметре сеянцев у шейки корня между разными местами посадочного места ($H = 0,84-1,96$; $p = 0,375-0,659$), что также обосновывается адаптационной особенностью сеянцев в первые годы посадки.



а



б

Рис. 1. Сеянцы ели с ОКС (а) и сосны с ЗКС (б), посаженные в разные посадочные места на лесокультурных площадях
Fig. 1. Seedlings of spruce with ORS (a) and pine with CRS (b), planted in different planting places on forest cultivation areas

Таблица 2. Результаты статистического анализа биометрических показателей сеянцев в разных местах посадочного места

Table 2. The results of statistical analysis of biometric indicators of seedlings in different places of the planting site

Показатель <i>Indicator</i>	Порода <i>Species</i>	Возраст культур, лет <i>Crop age, years</i>	Положение посадки <i>Position of planting</i>		Парные (апостериорные) сравнения <i>Paired (aposteriori) comparisons</i>					
					У ямы vs. Центр <i>At the pit vs. Center</i>		У ямы vs. от ямы <i>At the pit vs. from the pit</i>		Центр vs. от ямы <i>Center vs. from the pit</i>	
					Н	р	Z	р	Z	р
Высота <i>Height</i>	Сосна <i>Pine</i>	1	1,19	0,552	-	-	-	-	-	-
		2	4,1	0,128	-	-	-	-	-	-
		3	9,07	0,011	2,97	0,009	1,88	0,177	1,00	0,950
		6	8,56	0,013	2,84	0,013	1,96	0,148	0,95	1,000
		7	5,37	0,068	-	-	-	-	-	-
		8	6,52	0,038	2,43	0,044	1,82	0,201	0,67	1
	Ель <i>Spruce</i>	9	11,63	0,003	3,32	0,003	0,94	1,000	2,31	0,061
		1	0,67	0,713	-	-	-	-	-	-
		2	5,46	0,065	-	-	-	-	-	-
		3	0,62	0,732	-	-	-	-	-	-
		6	4,3	0,117	-	-	-	-	-	-
		7	12,64	0,002	3,54	0,001	2,17	0,089	1,42	0,464
Диаметр <i>Diameter</i>	Сосна <i>Pine</i>	8	12,78	0,002	3,52	0,001	2,19	0,083	1,18	0,706
		9	8,1	0,017	2,73	0,019	2,00	0,136	0,62	1
		1	13,40	0,001	2,10	0,107	3,38	0,002	1,34	0,537
		2	0,84	0,659	-	-	-	-	-	-
		3	11,49	0,003	3,33	0,003	2,05	0,121	1,19	0,690
		6	6,67	0,036	2,49	0,037	1,77	0,230	0,79	1
	Ель <i>Spruce</i>	7	3,14	0,207	-	-	-	-	-	-
		8	2,31	0,315	-	-	-	-	-	-
		9	8,17	0,017	2,69	0,021	0,48	1	2,16	0,092
		1	0,91	0,634	-	-	-	-	-	-
		2	6,96	0,031	2,52	0,034	1,16	0,741	1,41	0,475
		3	1,96	0,375	-	-	-	-	-	-
Прирост по высоте <i>Height gain</i>	Сосна <i>Pine</i>	4	6,37	0,041	2,37	0,054	0,6	1	1,83	0,202
		7	12,13	0,002	3,39	0,002	2,39	0,049	1,04	0,896
		9	10,53	0,053	3,07	0,006	2,34	0,057	0,61	1
		10	7,42	0,024	2,65	0,028	1,93	0,159	0,56	1
		1	1,79	0,408	-	-	-	-	-	-
		2	0,5	0,778	-	-	-	-	-	-
	Ель <i>Spruce</i>	3	4,61	0,093	-	-	-	-	-	-
		6	7,32	0,026	2,71	0,021	1,37	0,509	1,38	0,498
		7	5,91	0,05	2,29	0,051	1,81	0,207	0,28	1
		8	1,33	0,515	-	-	-	-	-	-
		9	13,55	0,001	3,55	0,001	0,87	1	2,60	0,027
		1	0,15	0,923	-	-	-	-	-	-
Ель <i>Spruce</i>	2	5,75	0,056	-	-	-	-	-	-	
	3	1,81	0,401	-	-	-	-	-	-	
	4	8,43	0,015	2,82	0,014	2,02	0,129	0,83	1	
	7	10,14	0,006	3,16	0,005	1,97	0,146	1,24	0,642	
	9	12,75	0,002	3,52	0,001	2,19	0,084	1,18	0,706	
	10	3,01	0,222	-	-	-	-	-	-	

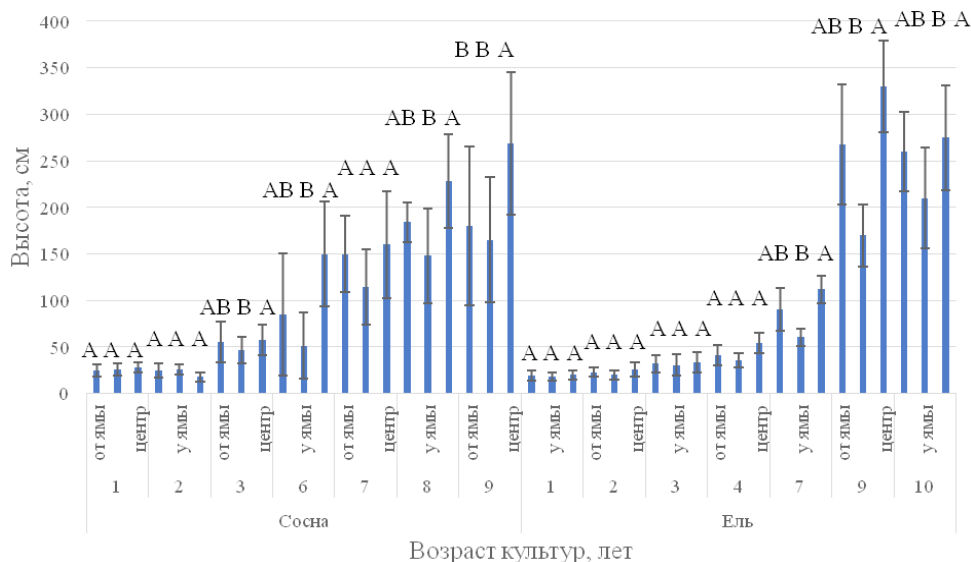


Рис. 2. Высота культур сосны и ели в различном возрасте.

Линии «усов» показывают стандартное отклонение

Разные заглавные буквы в верхней части столбиков указывают на значимость различий между средними рангами при многократном сравнении

Fig. 2. Height of pine and spruce crops at different ages. The whisker lines show the standard deviation. The different capital letters at the top of the columns indicate the significance of the differences between the average ranks after multiple comparisons

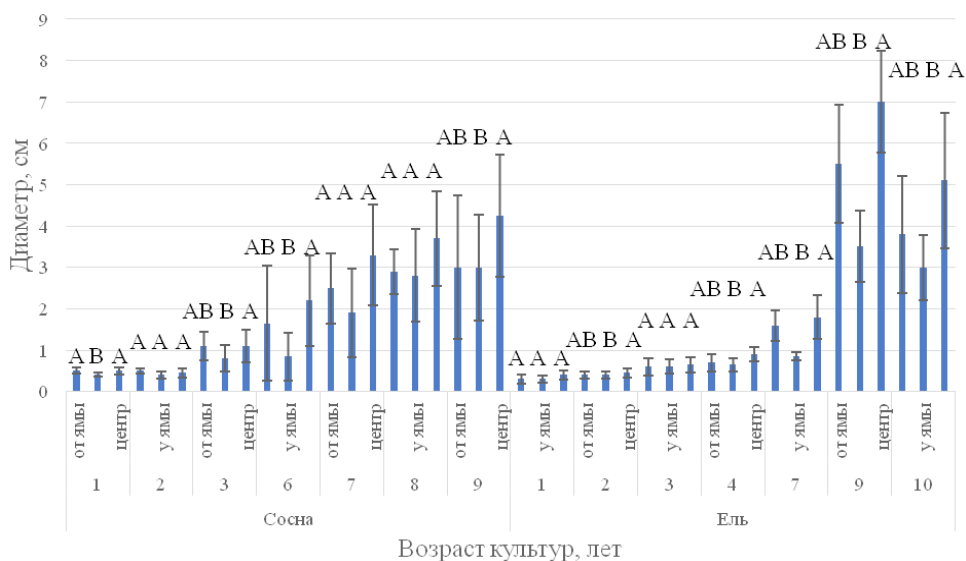


Рис. 3. Диаметр культур сосны и ели в различном возрасте.

Линии «усов» показывают стандартное отклонение.

Разные заглавные буквы в верхней части столбиков указывают на значимость различий между средними рангами при многократном сравнении

Fig. 3. Diameter of pine and spruce crops at different ages. The whisker lines show the standard deviation. The different capital letters at the top of the columns indicate the significance of the differences between the average ranks after multiple comparisons

Исключение составляют однолетние культуры сосны в кисличном типе леса ($N = 3,38$; $p = 0,002$), где различие в диаметре сеянцев у шейки корня отмечается между краями микроповышения (у ямы и от ямы), что может быть связано с почвенными условиями, так как состав слоев почвы в посадочных местах может значительно варьировать.

Достоверные различия в диаметре сеянцев у шейки корня между центром и краем микроповышения (у ямы) наблюдаются в 3-, 6- и 9-летних культурах сосны ($N = 2,49-3,33$; $p = 0,003-0,037$), где диаметр сосны у шейки корня в центре микроповышения на 38-168% выше. В 7-8-летних культурах сосны различия в диаметре не достигают достоверных значений ($N = 2,31-3,14$; $p = 0,207-0,315$).

Достоверные различия наблюдаются в 2-, 4-10-летних культурах ели, посаженных в центре микроповышений, где диаметр ели у шейки корня на 13-111% выше по сравнению с культурами ели, посаженными у ямы ($H = 2,37-3,39$; $p = 0,002-0,054$). Практически отсутствуют достоверные различия в диаметре сеянцев у шейки корня между центром и краем микроповышения (от ямы) и краями микроповышения (от ямы и у ямы) ($H = 0,56-2,39$; $p = 0,049-1$).

Результаты множественных сравнений показывают, что прирост сеянцев по высоте за последние 1-3 года в культурах разного возраста также в большинстве случаев зависит от места посадки (рис. 4).

В 1-3-летних культурах сосны и ели отсутствуют достоверные различия в среднем приросте по высоте между разными местами посадки ($H = 0,15-2,37$; $p = 0,056-0,923$), что также подтверждает адаптационную особенность сеянцев в первые годы посадки.

Достоверные различия в среднем приросте по высоте за последние 3 года между центром и краем микроповышения (у ямы) наблюдаются в 6-, 7- и 9-летних культурах сосны ($H = 2,29-3,55$;

$p = 0,001-0,051$). Средний прирост по высоте сосны за 3 года, посаженной в центр микроповышения, на 59-171% выше по сравнению с посаженной у ямы. В 8-летних культурах сосны различия в приросте не достигают достоверных значений ($H = 1,33$; $p = 0,515$).

Также достоверные различия в среднем приросте по высоте за 3 года между центром и краем микроповышения (у ямы) наблюдаются в 4-9-летних культурах ели ($H = 2,82-3,52$; $p = 0,001-0,014$). Средний прирост по высоте ели за 3 года, посаженной в центр микроповышения, на 86-153% выше, чем у сеянцев, высаженных на краю у ямы. В 10-летних культурах ели различия в приросте не достигают достоверных значений ($H = 3,01$; $p = 0,222$), что связано с высокой изменчивостью прироста в местах посадки (21,3-40,7%).

В целом исследования биометрических показателей в культурах разного возраста наглядно подтверждают выводы различных авторов о том, что при производстве лесных культур важно грамотно подобрать оптимальное место посадки [15-18]. Это обеспечит лучший рост сеянцев сосны и ели и повысит их устойчивость на лесокультурной площади.

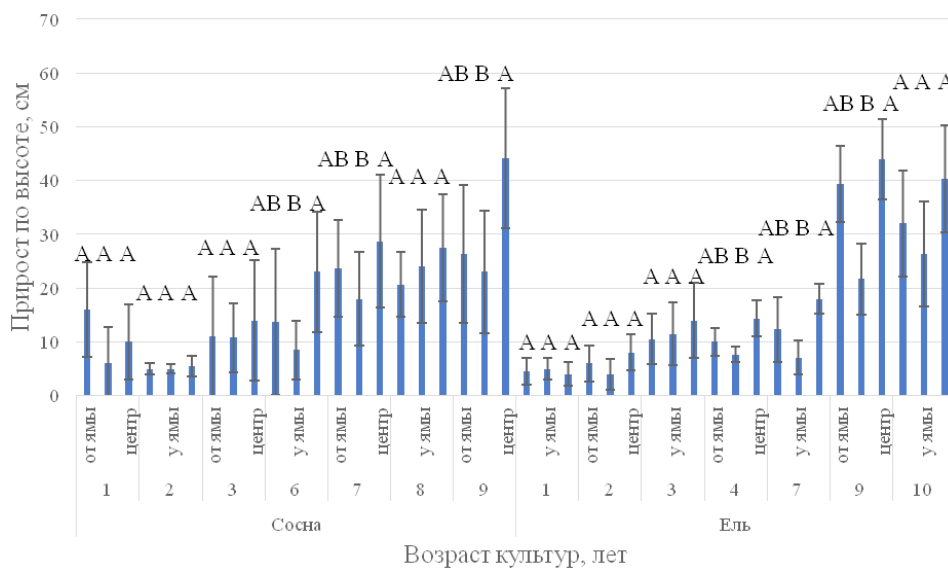


Рис. 4. Прирост по высоте культур сосны и ели в различном возрасте.

Линии «усов» показывают стандартное отклонение

Разные заглавные буквы в верхней части столбиков указывают на значимость различий между средними рангами при многократном сравнении

Fig. 4. Height increment of pine and spruce crops at different ages.

The whisker lines show the standard deviation

The different capital letters at the top of the columns indicate the significance of the differences between the average ranks after multiple comparisons

Выводы

Результаты изучения биометрических показателей культур сосны и ели в разных местах посадочного места показали, что в микроповышениях, созданных экскаваторами, рост

сеянцев связан с их размещением в пределах микроповышения. Лучшие показатели высоты, диаметра у шейки корня и среднего прироста по высоте за 1-3 года отмечаются у сеянцев, посаженных в центре микроповышения,

а наименьшие – при посадке в край, у ямы, обрабатываемой при захвате почвы ковшем.

К 6-7-летнему возрасту различия в биометрических показателях становятся более заметными. Глубокие вырытые ямы и высокие отвалы почвы в микроповышениях, созданных экскаваторами, могут нарушать ход развития корневой системы посаженных сеянцев. Это может быть связано со строением микроповышений (состав горизонтов, гранулометрический состав), которые отличаются от строения коренеобитаемого слоя в пасеке. При посадке сеянцев следует отступать от краев микроповышения. Преимущественным местом расположения сеянцев при посадке считается центр посадочного места, подготовленного

с помощью экскаватора. Например, при размере микроповышений 1-2 м² и посадке 4 сеянцев как с ОКС, так и ЗКС, от краев микроповышения следует отступать, как минимум, по 20-30 см для обеспечения оптимального расстояния между сеянцами 70-80 см.

Изучение роста культур сосны и ели в зависимости от локализации в пределах посадочного места указало на некоторые проблемы, связанные с интенсификацией качества лесовосстановления. Одними из них являются проектный менеджмент, качество обработки почвы и посадки сеянцев, а также квалификационные характеристики исполнителей лесокультурных работ.

Список использованных источников

1. **Бабич Н.А., Корчагов С.А., Конюшатов О.А., Стребков Н.Н., Лупанова И.Н.** Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. № 2. С. 74-83.
2. **Мерзленко М.Д.** Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления // Известия вузов. Лесной журнал. 2017. № 3. С. 22-30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22.
3. **Мочалов Б.А., Сеньков А.О.** Рост сеянцев сосны с открытыми и закрытыми корнями в культурах таежной зоны // Известия вузов. Лесной журнал. 2007. № 4. С. 145-147.
4. **Жигунов А.В., Шевчук С.В.** Лесные культуры сосны и ели из посадочного материала, выращенного комбинированным методом // Известия вузов. Лесной журнал. 2006. № 6. С. 13-19.
5. **Luoranen J., Laine T., Saksa T.** Field performance of sand-coated (Conniflex®) Norway spruce seedlings planted in mounds made by continuously advancing moulder and in undisturbed soil // Forest Ecology and Management. 2022. Vol. 517, No 5. id 120259. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120259.
6. **Ramantswana M., Guerra S.P.S., Ersson B.T.** Advances in the mechanization of regenerating plantation forests: a review // Curr. For. Rep. 2020. Vol. 6, No 2. Pp. 143-158. DOI: 10.1007/s40725-020-00114-7.
7. **Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Bogdanov A.P.** Effects of site preparation methods on soil physical properties and outplanting success of coniferous seedlings in boreal forests // Journal of Forestry Research. 2024. Vol. 35. Pp. 1-11. DOI: 10.1007/s11676-023-01671-w.
8. **Морозов А.Е., Батуринов С.В.** Эффективность лесовосстановления на сплошных вырубках после применения комплексов многооперационных лесозаготовительных машин в условиях Бисерского лесничества Пермского края // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 2 (73). С. 50-57.
9. **Sikström U., Hjelm K., Hanssen H.K., Saksa T., Wallertz K.** Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts Fennoscandia – a review // Silva Fennica. 2020. Vol. 54, No 2. Pp. 1-35. DOI: 10.14214/sf.10172.
10. **Häggeström B., Domevsčik M., Öhlund J., Nordin A.** Survival and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*)

References

1. **Babich N.A., Korchagov S.A., Konyushatov O.A., Strebkov N.N., Lupanova I.N.** Topical Actual problems of reforestation in the European North of Russia within the framework of the transition to an intensive model of forest management. Forest Journal. 2013. No 2. P. 74-83.
2. **Merzlenko M.D.** Relevant Aspects of artificial reforestation // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal). 2017. No 3. P. 22-30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22
3. **Mochalov B.A., Senkov A.O.** Growth of bare-root and containerized pine seedlings in cultures of taiga zone // Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal). 2007. No. 4. P. 145-147.
4. **Zhigunov A.V., Shevchuk S.V.** Forest cultures of pine and spruce from planting material grown by combined method // Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal). 2006. No. 6. P. 13-19.
5. **Luoranen J., Laine T., Saksa T.** Field performance of sand-coated (Conniflex®) Norway spruce seedlings planted in mounds made by continuously advancing moulder and in undisturbed soil // Forest Ecology and Management. 2022. Vol. 517. No. 5. id 120259. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120259.
6. **Ramantswana M., Guerra S.P.S., Ersson B.T.** Advances in the mechanization of regenerating plantation forests: a review // Curr. For. Rep. 2020. Vol. 6. No. 2. Pp. 143-158. DOI: 10.1007/s40725-020-00114-7.
7. **Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Bogdanov A.P.** Effects of site preparation methods on soil physical properties and outplanting success of coniferous seedlings in boreal forests // Journal of Forestry Research. 2024. Vol. 35. Pp. 1-11. DOI: 10.1007/s11676-023-01671-w.
8. **Morozov A.E., Baturin S.V.** Efficiency of reforestation on clear cuttings after the application of complexes of multioperative logging machines in the conditions of the Biserky forestry of the Perm region. 2020. No 2 (73). P. 50-57.
9. **Sikström U., Hjelm K., Hanssen H.K., Saksa T., Wallertz K.** Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts Fennoscandia – a review // Silva Fennica. 2020. Vol. 54. No. 2. P. 1-35. DOI: 10.14214/sf.10172.
10. **Häggeström B., Domevsčik M., Öhlund J., Nordin A.** Survival and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings in north Sweden: effects of planting position

seedlings in north Sweden: effects of planting position and arginine phosphate addition // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 36, № 6. Pp. 423-433. DOI: 10.1080/02827581.2021.1957999.

11. **Uotila K., Luoranen J., Saksa T., Laine T., Heiskanen J.** Long-term growth response of Norway spruce in different mounding and vegetation control treatments on fine-textured soils // *Silva Fennica*. 2022. Vol. 56, № 4. id 10762. 20 p. DOI: 10.14214/sf.10762.

12. de Chantal M., **Leinonen K., Pvesniemi H., Westman C.J.** Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds // *Canadian Journal of Forest Research*. 2003. Vol. 33, № 5. Pp. 931-945. DOI: 10.1139/x03-011.

13. **Grossnickle S.C.** Importance of root growth in overcoming planting stress // *New For.* 2005. Vol. 30, № 2-3. Pp. 273-294. DOI: 10.1007/s11056-004-8303-2.

14. **Варфоломеев Л.А., Сунгуров Р.В.** Почвенная экология лесных культур на Севере. Архангельск: Северное НИИ лесного хозяйства, 2007. 291 с.

15. **Мочалов Б.А.** Подготовка почвы и выбор посадочного места при создании лесных культур сосны из семян с закрытыми корнями // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2014. № 4. С. 9-18.

16. **Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Сдобова С.Ч.** Сравнительные результаты использования семян сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья // *Успехи современного естествознания*. 2021. № 11. С. 7-12. DOI: 10.17513/use.37705.

17. Del Campo A.D., **Navarro-Cerrillo R.M., Hermoso J., Ibáñez A.J.** Relationship between root growth potential and field performance in Aleppo pine // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64, № 5. Pp. 541-548. DOI: 10.1051/forest:2007031.

18. **Дебков Н.М.** Опыт создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2021. № 5. С. 192-200. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-192-200.

Об авторах

Алексей Сергеевич Ильинцев, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, доцент; WOSResearcherID: N-6286-2019, ORCID: 0000-0003-3524-4665, РИНЦ; AuthorID: 849116; a.ilintsev@narfu.ru

Елена Николаевна Наквасина, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, профессор; WOSResearcherID: A-5165-2013, ORCID: 0000-0002-7360-3975, РИНЦ; AuthorID: 132027; e.nakvasina@narfu.ru

Александр Петрович Богданов, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, доцент; WOSResearcherID: A-8611-2019, ORCID: 0000-0002-1655-7212, РИНЦ; AuthorID: 814583; aleksandr_bogd@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н., Богданов А.П. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 26.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 28.10.2024

and arginine phosphate addition // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 36. No. 6. P. 423-433. DOI: 10.1080/02827581.2021.1957999.

11. **Uotila K., Luoranen J., Saksa T., Laine T., Heiskanen J.** Long-term growth response of Norway spruce in different mounding and vegetation control treatments on fine-textured soils // *Silva Fennica*. 2022. Vol. 56. No. 4. id 10762. 20 p. DOI: 10.14214/sf.10762.

12. de Chantal M., **Leinonen K., Pvesniemi H., Westman C.J.** Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds // *Canadian Journal of Forest Research*. 2003. Vol. 33. No. 5. Pp. 931-945. DOI: 10.1139/x03-011.

13. **Grossnickle S.C.** Importance of root growth in overcoming planting stress // *New For.* 2005. Vol. 30. No. 2-3. Pp. 273-294. DOI: 10.1007/s11056-004-8303-2

14. **Varfolomeev L.A., Sungurov R.V.** Soil ecology of forest crops in the North. Arkhangelsk, 2007. 291 p.

15. **Mochalov B.A.** Soil cultivation and selection planting site attached to pine artificial stands creation from containerized seedlings // *Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2014. No. 4. P. 9-18.

16. **Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sdobova S.Ch.** Results of a comparative analysis of the use of Scots pine seedlings with open and closed root system under artificial reforestation in the conditions of Western Transbaikalia // *Advances in current natural sciences*. 2021. No. 11. P. 7-12. DOI: 10.17513/use.37705.

17. Del Campo A.D., **Navarro-Cerrillo R.M., Hermoso J., Ibáñez A.J.** Relationship between root growth potential and field performance in Aleppo pine // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64. No. 5. Pp. 541-548. DOI: 10.1051/forest:2007031.

18. **Debkov N.M.** Experience in the creation of forest plantations using container seedlings. *Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2021. No. 5. P. 192-200. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-192-200.

About the authors

Aleksey S. Ilintsev, CSc (Agro), senior researcher, associate professor; (WOSResearcherID: N-6286-2019, ORCID: 0000-0003-3524-4665, RSCI: 849116); a.ilintsev@narfu.ru

Elena N. Nakvasina, DSc (Agro), leading researcher, professor; (WOSResearcherID: A-5165-2013, ORCID: 0000-0002-7360-3975, RSCI: 132027); e.nakvasina@narfu.ru

Alexander P. Bogdanov, CSc (Agro), senior researcher, associate professor; (WOSResearcherID: A-8611-2019, ORCID: 0000-0002-1655-7212, RSCI: 814583); aleksandr_bogd@mail.ru

Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Bogdanov A.P. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-119-126>

УДК 630*5



ПРЕДЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ «СРЕДНИЙ ДИАМЕТР – СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ДЕРЕВЬЯМИ» В ДРЕВОСТОЯХ

В.В. Кузьмичев[✉], А.В. Лебедев

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

Аннотация. Степень заполненности пространства древесными растениями имеет некоторый предел, связанный с их биологическими особенностями и уровнем плодородия почв. Значение относительной полноты в нашей стране служит критерием для определения интенсивности рубок ухода, тогда как за рубежом используют «индекс густоты древостоев». Цель исследований – обоснование предельной линии «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях основных лесобразующих пород по данным долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях. Материалом для исследований являлись данные обмеров на постоянных пробных площадях в Лесной опытной даче Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Были выбраны пробные площади, на которых суммы площадей сечений достигали максимальных значений один раз в течение жизни древостоя, а также где суммы площадей сечений дважды достигали максимума. Для проверки обоснованности прохождения линии регрессии через начало координат использовалась программа расчетов уравнения прямой линии со свободным членом. Подтверждена гипотеза о прямой пропорциональности среднего диаметра древостоев среднему расстоянию между деревьями, при этом зависимость коэффициента пропорциональности от начального числа деревьев не наблюдается. В древостоях с максимальными суммами площадей сечений отношение максимального среднего диаметра к среднему расстоянию между деревьями близко к константе. Оно служит хорошим показателем степени заполненности пространства и может быть использовано в производственно-технических расчетах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-01016, <https://rscf.ru/project/23-76-01016/>

Ключевые слова: средний диаметр, среднее расстояние между деревьями, предельная линия, древостой

Формат цитирования: Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Предельная линия «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях // Природообустройство. 2024. № 5. С. 119-126. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-119-126>

Original article

LIMIT LINE “AVERAGE DIAMETER – AVERAGE DISTANCE BETWEEN TREES” IN STANDS

V.V. Kuzmichev[✉], A.V. Lebedev[✉]

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

Abstract. The degree of space occupancy with woody plants has a certain limit associated with their biological characteristics and the level of soil fertility. The value of relative density in our country serves as a criterion for determining the intensity of thinning, while abroad the “index of forest density is used”. The purpose of the study is to substantiate the limit line “average diameter – average distance between trees” in stands of the main forest-forming species according to the data of long-term observations on permanent sample plots. The materials for the study were measurement data on permanent sample plots in the Forest experimental station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Sample plots were selected where the sums of the cross-sectional areas reached the maximum values once during the life of the stand, as well as where the sums of the cross-sectional areas reached the maximum twice. To verify the validity of the regression line passing through the origin, a program for calculating the equation of a straight line with a free term was used. The hypothesis

of direct proportionality of the average diameter of forest stands to the average distance between trees is confirmed, while the dependence of the proportionality coefficient on the initial number of trees is not observed. In stands with maximum sums of cross-sectional areas, the ratio of the maximum average diameter to the average distance between trees is close to the constant. It serves as a good indicator of the degree of space occupancy and can be used in production and technical calculations.

This study has been supported by the grants of the Russian Science Foundation, RSF 23-76-01016, <https://rscf.ru/en/project/23-76-01016/>

Keywords: mean diameter, average distance between trees, maximum density line, forest stands

Citation format: Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Limit line “average diameter – average distance between trees” in stands // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 119-126. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-119-126>

Введение. В лесном хозяйстве при планировании рубок ухода, оценке запаса древостоев и выполнении ряда других работ используют относительные оценки, нормируя запас, сумму площадей сечений или густоту древостоев на их предельные значения. Степень заполненности пространства древесными растениями имеет некоторый предел, связанный с их биологическими особенностями и уровнем плодородия почв. Еще в XVIII в. максимально возможную заполненность пространства фитомассой лесоводы стали принимать за идеальное состояние древостоев и присвоили им название «нормальных». В лесу подбирали участки разного возраста на всех почвенных разностях (площадью не менее 1/4 га), «где невозможно добавить ни одного лишнего дерева», и составляли таблицы «нормальных» насаждений. Путем нормирования на эти предельные значения стали получать важный таксационный показатель – относительную полноту древостоев [1, 2].

Значение относительной полноты в нашей стране служит критерием для определения интенсивности рубок ухода [3, 4], тогда как в Северной Америке используют «индекс густоты древостоев» (stand density index) – отношение фактического числа деревьев на 1 га к предельно возможному (при данном среднем диаметре) [5-7]. Относительную полноту у нас применяют и для вычисления запаса древостоев [8-10], а в США и ряде других стран его находят преимущественно по таблицам (уравнениям) объемов стволов [11-13]. Таким образом, относительная полнота и относительная густота – широко используемые таксационные показатели. Они взаимно дополняют друг друга, поэтому есть необходимость использовать оба показателя в отечественной лесохозяйственной практике.

Цель исследований: обоснование предельной линии «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях основных лесобразующих пород по данным

долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях.

Материалы и методы исследований.

Как известно, три основных таксационных признака: средний квадратический диаметр (D), число стволов на единице площади (N) и площадь сечений древостоя (G) – связаны функциональной зависимостью. Эта формула справедлива и для максимальных значений данных признаков:

$$G_{max} = \left(\frac{\pi}{40000} \right) \cdot D_{max}^2 \cdot N_{max}. \quad (1)$$

Перепишем это уравнение, выделив в качестве независимой переменной квадрат максимального диаметра и сделав некоторые перестановки:

$$D_{max}^2 = \left(\frac{\pi}{40000} \right) \cdot G_{max} \cdot \left(\frac{10000}{N_{max}} \right). \quad (2)$$

Деление площади, га, на число стволов позволяет перейти к новой переменной – площади роста среднего дерева (S_{max}):

$$\frac{10000}{N_{max}} = S_{max}. \quad (3)$$

Предположим, что максимальные площади сечений однородной группы древостоев довольно одинаковы. Тогда можно переписать уравнение (2) в новой форме:

$$D_{max}^2 = K \cdot S_{max}. \quad (4)$$

Примем в качестве первой гипотезы, что квадрат среднего диаметра древостоя прямо пропорционален площади роста среднего дерева. Но обычно находят зависимость среднего диаметра древостоя от его густоты (в нашем случае – от среднего расстояния между деревьями (L_{max}):

$$L_{max} = \sqrt{S_{max}}. \quad (5)$$

Уравнение (3) примет следующую форму:

$$D_{max} = K \cdot L_{max}. \quad (6)$$

Второй гипотезой будет предположение о прямой пропорциональности среднего диаметра древостоев по отношению к среднему расстоянию между деревьями.

Проверим эти гипотезы на материалах обмеров постоянных пробных площадей в Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [14]. Наиболее представлены в них наблюдения за динамикой культур сосны. Были выбраны обмеры, где суммы площадей сечений достигали максимальных значений один раз в течение жизни древостоя (84 пробы), а также пробы, где суммы площадей сечений дважды достигали максимума (23 пробы с начальной густотой посадки 32 тыс. экз/га, в том числе 7 проб, где половину сеянцев составляла ель). Одновременно выясним, влияет ли начальная густота посадки на величину и изменчивость коэффициентов пропорциональности. Материалы обмеров в культурах сосны были разделены на 6 групп в зависимости от густоты посадки: 1 (2,0-3,3 тыс. шт/га, 29 проб); 2 (4,0-6,0 тыс., 29 проб); 3 (7,7-8,8 тыс., 17 проб); 4 (10,0-22,8 тыс., 8 проб); 5 (32 тыс., 16 проб с повторными максимумами); 6 (16 тыс. сосны и 16 тыс. ели, 7 проб с повторными максимумами). Используются также данные с максимальными значениями сумм площадей сечений на 1 га в сосняках естественного происхождения (16 проб), культурах лиственницы (17 проб), культурах дуба (19 проб) и березы (12 проб).

Следует отметить множество факторов, влияющих на рост отдельных древостоев. Часть из них связана с учебно-опытным статусом Лесной опытной дачи, где проверяли разные способы обработки почвы, влияние происхождения семян,

меняли густоту и размещение сеянцев, их возраст и схемы смешения древесных пород, сравнивали разные методы рубок ухода и др. Не менее заметным оказалось антропогенное влияние на рост древостоев (загрязнение, рекреационные нагрузки и пр.). Все эти факторы повышают изменчивость максимальных значений сумм площадей сечений. Кроме того, существуют ошибки исполнителей и влияет длина интервалов времени между измерениями (время обмера и момент наступления максимума могут не совпадать). Для проверки обоснованности прохождения линии регрессии через начало координат использовали программу расчетов уравнения прямой линии со свободным членом, где приводится достоверность его отличия от нуля (уровень значимости $p < 0,05$):

$$Y = a + b \cdot X, \quad (7)$$

Результаты и их обсуждение. Результаты расчетов по формулам (7) и (4) для зависимости квадратов средних диаметров от средних площадей роста приводятся в таблице 1. Показатель статистической значимости (р-значение) для всех 6 групп проб оказался выше 0,05, что говорит о недостоверном отличии свободного члена в уравнении (7) от нуля. В то же время при их объединении в один массив (128 пробных площадей) уравнение регрессии достоверно отклоняется от нулевой точки. Во всех уравнениях наблюдается большой разброс точек вокруг линий регрессии, о чем свидетельствуют как довольно низкие значения коэффициентов детерминации, так и большие величины стандартных ошибок уравнений.

Таблица 1. Коэффициенты уравнений (7) и (4) и показатели точности расчетов для зависимости квадратов средних диаметров от средних площадей роста

Table 1. Coefficients of equations (7) and (4) and indicators of the accuracy of calculations for the dependence of squares of average diameters on average growth areas

Группы Groups	Уравнение (7) / Equation (7)				Уравнение (4) / Equation (4)			N
	Оценки параметров Assessment of parameters		Достоверность и ошибка уравнения Validity and error of the equation		Оценки параметра Assessment of the parameter	Достоверности и ошибка уравнения Validity and error of the equation		
	a (р-значение) (P-value)	b	R ²	SE	K	R ²	SE	
1	65,0 (0,14)	28,4	0,506	70,8	36,0	0,943	72,4	29
2	24,2 (0,42)	31,8	0,712	45,0	34,8	0,974	44,7	29
3	2,3 (0,91)	37,7	0,914	24,0	38,1	0,992	23,3	17
4	42,6 (0,21)	27,9	0,845	38,5	33,9	0,962	91,6	7
5	18,4 (0,94)	34,5	0,938	83,5	35,5	0,974	83,5	32
6	28,3 (0,19)	30,7	0,975	60,0	31,9	0,990	33,1	14
Итого / Total	27,4 (0,40)	32,6	0,926	63,2	34,5	0,973	65,1	128

На рисунке 1 представлена зависимость квадратов средних диаметров древостоев от площадей роста средних деревьев по уравнению (4). Коэффициент пропорциональности равен 34,5, следовательно, квадрат диаметра среднего дерева в 35 тыс. раз меньше его площади роста. Несмотря на то, что гипотеза о пропорциональности площади сечений среднего дерева в древостоях с максимальными суммами площадей сечений средней площади роста деревьев подтверждается, изменчивость коэффициента пропорциональности K довольно велика ($CV = 19,6\%$).

После этого использовали уравнение (7) для анализа зависимости средних диаметров древостоев от средних расстояний между деревьями и сравнили с результатами вычислений по уравнению (6) (табл. 2). Зависимость коэффициента пропорциональности от начального числа деревьев не наблюдается, поскольку нет тенденции в его изменениях от густоты посадки.

Изменчивость коэффициента пропорциональности в этом случае в два с лишним раза меньше ($CV = 8,3\%$), что позволяет использовать среднюю линию в качестве придержки при оценке степени заполненности пространства в конкретных древостоях путем вычисления коэффициента пропорциональности. Для зависимости средних диаметров древостоев от среднего расстояния между деревьями оказалось достоверным отличие от нуля свободного члена в смешанных посадках сосны и ели и в общем массиве данных. В этом случае очевиден фактор, повлиявший на положение выравнивающей линии, – совместное произрастание сосны и ели в течение 60 лет. Был проверен вариант этой зависимости по тем же пробам для смешанных

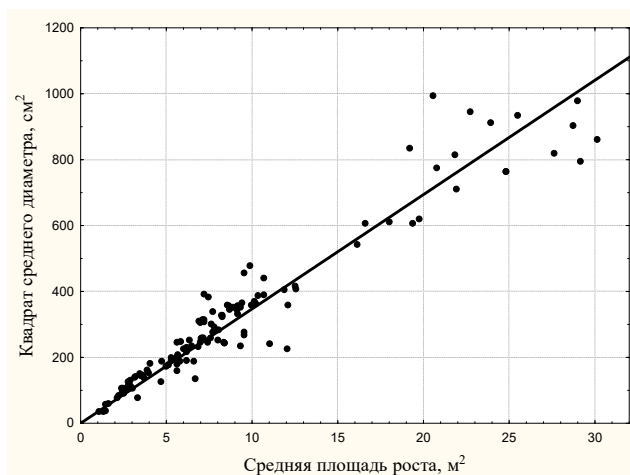


Рис. 1. Зависимость квадрата среднего диаметра от средней площади роста

Fig. 1. Dependence of the square of the average diameter on the average growth area

древостоев (сосна и ель – в молодом возрасте, сосна и примеси других пород – после 60 лет). Свободный член уравнения оказался близким к нулю, а коэффициент пропорциональности – равным 7,43. Следовательно, рассмотрение данной зависимости только для сосны в смешанном насаждении приводит к ошибочным выводам. Поэтому данные для смешанных насаждений были исключены из рассмотрения. Результаты расчетов приводятся в таблице 3, где также же представлены результаты для связи диаметров и средних расстояний по сосне, лиственнице, дубу и березе.

Как следует из приведенных данных, в культурах сосны после исключения смешанных насаждений свободный член уравнения оказался лишним (рис. 2). Это же наблюдается в культурах лиственницы и березы. Пробы в сосняках естественного происхождения и дуба демонстрируют отклонение от общего правила, но малое число наблюдений не позволяет определить причины такого результата. В целом же можно считать, что вторая гипотеза подтверждается полученными данными.

Коэффициент пропорциональности в соотношении средних диаметров древостоев и средних расстояний при максимальных суммах площадей сечений позволяет получить линию предельных средних диаметров при разной текущей густоте (рис. 3).

В древостое с низкой густотой посадки (рис. 3а) на первом этапе происходит увеличение среднего диаметра на фоне слабого отпада.

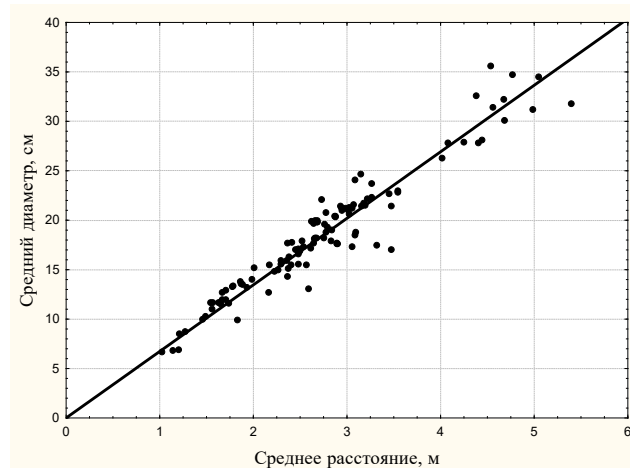


Рис. 2. Связь среднего диаметра древостоев со средним расстоянием при максимальных суммах площадей сечений в культурах сосны

Fig. 2. Relationship between the average diameter of forest stands and the average distance at the maximum sums of cross-sectional areas in pine cultures

Таблица 2. Коэффициенты уравнений (7) и (6) и показатели точности расчетов для зависимости средних диаметров древостоев от средних расстояний между деревьями

Table 2. Coefficients of equations (7) and (6) and indicators of the accuracy of calculations for the dependence of the average diameters of forest stands on the average distances between trees

Группы Groups	Уравнение (7) / Equation (7)				Уравнение (6) / Equation (6)			N
	Оценки параметров Assessments of parameters		Достоверность и ошибка уравнения Validity and error of the equation		Оценки параметра Assessments of parameters	Достоверности и ошибка уравнения Validity and error of the equation		
	a (p-значение)	b	R ²	SE	K	R ²	SE	
1	3,21 (0,20)	3,66	0,594	2,30	6,79	0,985	2,32	29
2	1,67 (0,32)	6,03	0,776	1,37	6,63	0,994	1,37	29
3	0,34 (0,28)	6,82	0,927	0,83	6,96	0,998	0,80	17
4	3,02 (0,23)	5,46	0,843	1,17	6,72	0,990	1,57	7
5	0,63 (0,36)	6,60	0,971	1,74	6,76	0,994	1,74	32
6	2,14 (0,03)	5,86	0,984	1,35	6,34	0,996	1,61	14
Итого / Total	1,48 (0,01)	6,22	0,940	1,70	6,68	0,992	1,77	128

Таблица 3. Коэффициенты уравнений (6) и (3) и показатели точности расчетов
Table 3. Coefficients of equations (6) and (3) and indicators of the accuracy of calculations

Варианты Options	Уравнение (6) / Equation (6)				Уравнение (3) / Equation (3)			N
	Оценки параметров Assessments of parameters		Достоверность и ошибка уравнения Validity and error of the equation		Оценки параметров Assessments of parameters	Достоверности и ошибка уравнения Validity and error of the equation		
	a (p-значение)	b	R ²	SE	K	R ²	SE	
Сосна (культуры) <i>Pine (Cultures)</i>	0,68 (0,28)	6,51	0,889	2,10	6,73	0,988	2,10	114
Сосна (естественное происхождение) <i>Pine (natural origin)</i>	2,88 (0,03)	6,07	0,972	1,60	6,70	0,996	1,86	16
Лиственница / Larch	2,98 (0,42)	8,21	0,879	4,41	8,81	0,989	4,37	17
Дуб / Oak	2,13 (0,01)	6,17	0,982	1,19	5,66	0,996	1,39	19
Береза / Birch	1,56 (0,14)	5,40	0,968	0,83	5,86	0,998	0,89	12

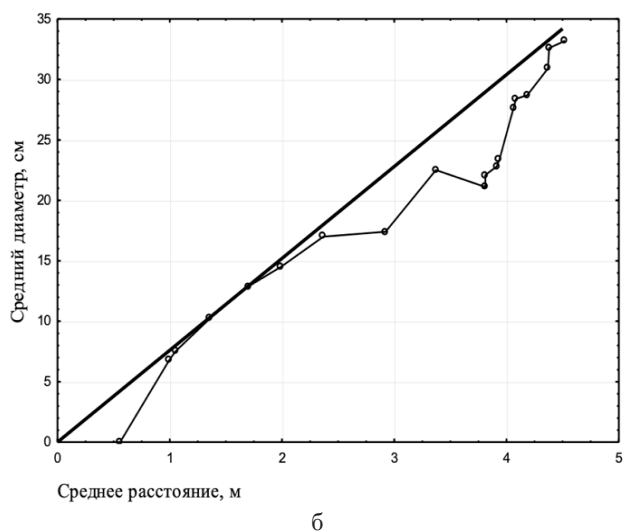
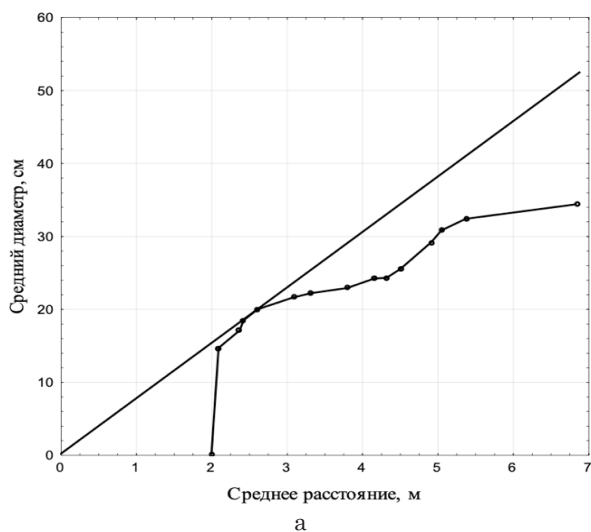


Рис. 3. Связь среднего диаметра древостоев со средним расстоянием при максимальных суммах площадей сечений в культурах сосны (а – пробная площадь 4/Ч, 2 тыс. экз/га; б – 4/Б, 32 тыс. экз/га)

Fig. 3. Relationship between the average diameter of forest stands and the average distance at the maximum sums of cross-section areas in pine cultures (a – sample area 4/h, 2 thousand inst./ha; b – 4/b, 32 thousand inst./ha)

На стадии жердняка наблюдается близкое к предельному состояние древостоя (и максимально возможные средние диаметры), после чего начинается механическое увеличение среднего диаметра за счет отпада (линия изреживания близка к горизонтальной). Следующий этап заключается в том, что текущий прирост в толщину увеличивается и приближает линию изреживания к предельному состоянию. Однако этот этап сменяется распадом, когда преобладает естественное изреживание. В культурах высокой густоты посадки (рис. 3б) на первом этапе происходит значительный отпад, второй этап (близкое к предельному состоянию) длится дольше, а третий – короче, чем в редких культурах. Четвертый этап завершается новым приближением к пределу, а пятый этап еще не наступил.

Таким образом, начальная густота посадки существенно влияет на темпы отпада деревьев в древостоях. Остается невыясненным влияние второго существенного фактора – характера размещения растений на площади, но для анализа его влияния имеющегося материала недостаточно.

В современных условиях повышаются требования к точности определения запаса древесины до рубки, поэтому использование метода относительной полноты (или относительной доли запаса «нормального» древостоя) становится недостаточным. Как следует из материалов обмеров на постоянных пробных площадях, древостои находятся в состоянии предельной полноты недолго, а понижение полноты приводит к уменьшению видовых чисел стволов.

Некоторые уточнения, связанные с учетом протяженности крон по стволу [15] или производительности древостоев (класса бонитета или группы классов), обобщенные в работе А.З. Швиденко с соавт. [16], проблемы не решают. Детально изучил эту проблему в начале прошлого века А.А. Крюденер [17]. Располагая огромным материалом обмеров пробных площадей с рубкой модельных деревьев, он составил таблицы определения запаса древостоев основных лесобразующих пород Европейской России (сосна, ель, береза, осина, дуб, липа, ясень, граб) с использованием нескольких входов. Для сосны и березы даны отдельные таблицы таежных и лесостепных древостоев. При составлении таблиц объемов стволов отдельных деревьев сосны в таежной зоне он использовал деление местообитаний на 5 типов, внутри каждой из групп – деление на 3 типа по протяжению крон, а затем – по 3 возрастным этапам, что позволило установить однородные группы по полнодревесности и форме стволов.

В таблице для определения запаса сосняков таежной зоны входами служат средние высота и диаметр господствующей части древостоев, а также сумма площадей сечений на 1 га. Таблицы дифференцированы по 5 типам местообитаний и 3 группам возраста. При объединении в одном уравнении связи средних высот, диаметров, групп местообитаний и возрастных групп оказалось, что достоверное влияние на величину запаса оказывают не только эти показатели, но и их квадраты, что свидетельствует о криволинейном характере зависимостей. Величины бета-коэффициентов (оценивающие влияние каждого из показателей на результирующий признак) уменьшаются в следующем порядке: средняя высота, группы местообитаний, средний диаметр и возраст. Но возрастной диапазон ограничен (65-200 лет), а наибольшее влияние возраста на форму ствола проявляется ранее.

Использование таблиц (уравнений) объемов стволов требует наличия материалов сплошных перечетов на определенной площади, но желаемую точность не обеспечивает. А.В. Богачев [18] проанализировал точность определения запаса древостоев по местным разрядным таблицам объемов стволов. Он подтвердил вывод Ф.П. Моисеенко [19] о том, что географический район не оказывает существенного влияния на полнодревесность стволов. Рассматривая вопрос о возможности таксации насаждений по среднему коэффициенту формы для породы, он отметил, что использование 32%-ного доверительного интервала при оценке точности таблиц объемов приводит к тому, что третья часть прогнозируемых данных выходит за пределы декларируемого норматива.

Изменчивость среднего видового числа на 5%-ном уровне значимости составляет для разных пород в среднем 12%, а с учетом ошибок округлений ввиду несовпадения фактических и табличных высот по ступеням толщины погрешности будут выше. А.В. Богачев приводит примеры фактических ошибок при использовании таблиц объемов в Ленинградской и Рязанской областях (более 20%). В связи с этим им разработаны регрессионные уравнения для определения объемов стволов с использованием множественных зависимостей (от возраста, высоты, диаметра и среднего протяжения крон), позволяющие снизить ошибку определения запаса древостоев до 6,4% на 5%-ном уровне значимости. Он не учел ошибку определения объемов стволов при использовании стереометрических формул, которая составляет 3%.

Выводы

Подтверждена гипотеза о прямой пропорциональности среднего диаметра древостоев по отношению к среднему расстоянию между деревьями, при этом зависимость коэффициента пропорциональности от начального числа деревьев не наблюдается. В древостоях с максимальными суммами площадей сечений

отношение максимального среднего диаметра к среднему расстоянию между деревьями близко к константе. Оно служит хорошим показателем степени заполненности пространства и может быть использовано в производственно-технических расчетах для определения запаса древостоев и при проектировании интенсивности и повторяемости рубок ухода.

Список использованных источников

1. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели: монография. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
2. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
3. Багаев Е.С. Нормативы полноты нормальных осинового древостоев Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2017. № 4. С. 40-45. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.04.
4. Турчина Т.А. Оптимизация режима прореживания и проходных рубок в пойменных черноольшанниках // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4, № 3 (15). С. 84-99. DOI: 10.12737/6272.
5. Possato E.L., Calegario N., Nogueira G.S., Melo E.A., Alves J.A. Estimate of stand density index for Eucalyptus urophylla using different fit method // Revista Árvore. 2016. № 40 (5). Pp. 921-929. DOI: 10.1590/0100-67622016000500016.
6. Pretzsch H., Biber P. A Re-Evaluation of Reineke's Rule and Stand Density Index // Forest Science. 2005. № 51 (4). Pp. 304-320. DOI: 10.1093/forestscience/51.4.304.
7. Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests // J. Agric. Res. 1933. Vol. 46. Pp. 627-638.
8. Вайс А.А. Определение запаса елового элемента в условиях Среднесибирского плоскогорья // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4-1 (106). С. 108-112. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.017.
9. Загребев В.В. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загребев, В.И. Сухих, А.З. Шведенко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалева. М.: Колос, 1990. 495 с.
10. Нагимов З.Я., Онучин И.Е., Нагимов В.З. Стандартные значения полноты и запаса кедровых древостоев в зеленомошной группе типов леса // Аграрный вестник Урала. 2016. № 7 (149). С. 34-39.
11. Evert F. Compatible systems for the estimation of tree and stand volume // The Forestry Chronicle. 1976. Pp. 15-16.
12. Gallagher D.A., Bullock B.P., Montes C.R., Kane M.B. Whole Stand Volume and Green Weight Equations for Loblolly Pine in the Western Gulf Region of the United States through Age 15 // Forest Science. 2019. Vol. 65 (4). Pp. 420-428. DOI: 10.1093/forsci/fxy068.
13. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States // Forests. 2021. Vol. 12 (9). id 1270. DOI: 10.3390/f12091270.
14. Дубенок Н.Н. и др. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии / Н.Н. Дубенок, В.В. Кузьмичев, А.В. Лебедев. М.: Наука, 2020. 382 с.
15. Богачев А.В. Лесотаксационные исследования. М.: ВНИИЛМ, 2007. 344 с.

References

1. Kuzmichev V.V. Regularities of forest stand dynamics: principles and models. Monograph. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p. ISBN978-5-02-019148-8.
2. Kuzmichev V.V. Regularities of forest stand growth / V.V. Kuzmichev, V.V. Novosibirsk, Nauka. 1977. 160 p.
3. Bagaev E.S. Standards for the completeness of normal aspen stands of the Kostroma Region / E.S. Bagaev // Forestry management information. 2017. № 4. P. 40-45. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.04.
4. Turchina T.A. Optimization of the regime of thinning and passage felling in floodplain black alder forests / T.A. Turchina // Forestry Journal. 2014. V. 4, No 3(15). P. 84-99. – DOI: 10.12737/6272.
5. Possato E.L. Estimate of stand density index for Eucalyptus urophylla using different fit method / E.L. Possato, N. Calegario, G.S. Nogueira, E.A. Melo, J.A. Alves // Revista Árvore. 2016. № 40(5). P. 921-929. – DOI: 10.1590/0100-67622016000500016.
6. Pretzsch H. A Re-Evaluation of Reineke's Rule and Stand Density Index / H. Pretzsch, P. Biber // Forest Science. 2005. № 51(4). P. 304-320. – DOI: 10.1093/forestscience/51.4.304.
7. Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests / L.H. Reineke // J. Agric. Res. 1933. V. 46. P. 627-638.
8. Vais A.A. Determination of the reserve of the spruce element in the conditions of the Central Siberian Plateau / A.A. Vais // International Research Journal. 2021. № 4-1(106). P. 108-112. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.017.
9. Zagreev V.V. Union-wide standards for taxation of forests / V.V. Zagreev, V.I. Sukhikh, A.Z. Shvedenko, N.N. Gusev, A.G. Moshkalev. M.: Kolos, 1990, 495 p. 10. Nagimov Z.Ya. Standard values of thickness and reserve of cedar stands in the green-moss group of forest types / Z.Ya. Nagimov I.E. Onuchin, V.Z. Nagimov // Agrarian bulletin of the Urals. 2016. № 7(149). P. 34-39.
11. Evert F. Compatible systems for the estimation of tree and stand volume / F. Evert // The Forestry Chronicle. – 1976. – P. 15-16.
12. Gallagher D.A. Whole Stand Volume and Green Weight Equations for Loblolly Pine in the Western Gulf Region of the United States through Age 15 / D.A. Gallagher, B.P. Bullock, C.R. Montes, M.B. Kane // Forest Science. 2019. Vol. 65(4). P. 420-428. – DOI: 10.1093/forsci/fxy068.
13. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States / M. Sharma // Forests. 2021. Vol. 12(9). id 1270. – DOI: 10.3390/f12091270.
14. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Results of experimental work for 150 years in the Forest experimental station of the Timiryazev Agricultural Academy / D N.N.ubnok, V.V. Kuzmichev, A.V. Lebedev. Moscow, Nauka Publ., 2020. 382 p.

16. Швиденко А.З. и др. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы: Монография / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашченко, С. Нильсон, Ю.И. Булуй. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2008. 886 с.

17. Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Закономерности изменения размеров и качества древесины деревьев в лесах Европейской России (по материалам А.А. Крюденера): монография. Кологрив: Государственный природный заповедник «Кологривский лес», 2022. 96 с.

18. Моисеенко Ф.П. Таблицы для сортиментного учета леса на корню и методика их составления (сосна, ель, дуб, ясень, клен, граб, береза, осина, ольха черная, липа). Минск: Госиздат БССР, 1961. 584 с.

Об авторах

Валерий Васильевич Кузьмичев, д-р биолог. наук, профессор, заведующий лабораторией кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства; РИНЦ AuthorID: 81343; Scopus AuthorID: 6602535129; kuzmichev33valery@mail.ru

Александр Вячеславович Лебедев, д-р с.-х. наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства; WoS ResearcherID: AAX-9891-2020; Scopus AuthorID: 57214907823; РИНЦ AuthorID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

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

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 05.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 18.10.2024

15. Bogachev A.V. Forest taxation studies / A.V. Bogachev. Moscow, VNIILM Publ., 2007. 344 p.

16. Shvidenko A.Z. Tables and models of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia. Normative and reference materials. Monograph. / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko, S. Nilson Yu.I. Bului. Moscow, Federal forestry agency, 2008. 886 p.

17. Kuzmichev V.V. Regularities of the change of sizes and quality of the wood of trees in the forests of the European Russia (according to the materials of A.A. Kryudener) / V.V. Kuzmichev, A.V. Lebedev. Monograph. Kolodriv: State natural reserve "Kolovsky forest", 2022. 96 p.

18. Moiseenko F.P. Tables for standing forest assortment accounting and methods of their compilation. (Pine, spruce, oak, ash, maple, hornbeam, birch, aspen, black alder, linden) / F.P. Moiseenko. – Minsk: Gosizdat BSSR, 1961. 584 p.

About the authors

Valery V. Kuzmichev, DSc (Bio), professor, head of the laboratory of the department of agricultural land reclamation, forestry and land use planning; RSCI AuthorID: 81343; Scopus AuthorID: 6602535129; kuzmichev33valery@mail.ru

Alexander V. Lebedev, DSc (Agro), associate professor of the department of agricultural land reclamation, forestry and land use; WoS ResearcherID: AAX-9891-2020; Scopus AuthorID: 57214907823; RSCI AuthorID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-127-133>

УДК 630*181



ОПЫТ РАЗМНОЖЕНИЯ *CATALPA BIGNONIOIDES* WALTER. МЕТОДОМ ЧЕРЕНКОВАНИЯ

В.А. Савченкова ✉, Т.Г. Махрова, Д.С. Степанова, В.Д. Пазавина

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), Мытищинский филиал; 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, 1, Россия

Аннотация. Вопросы успешного ведения зеленого хозяйства на урбанизированных территориях не теряют своей актуальности. Целью исследований является выбор оптимального способа размножения катальпы бигнониевидной методом черенкования. Важным этапом является выбор ассортимента древесных пород с учетом их адаптивной способности. В статье приведены обоснование актуальности указанного направления, применяемая методика исследования, характеристика материала для черенкования и объектов, на которых проводилась заготовка черенков катальпы бигнониевидной. Укоренение черенков, заготовленных в феврале, составило только 20%. Положительным моментом явилась 100%-ная приживаемость укоренившихся черенков зимней заготовки. Посевы семян катальпы репродукции Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана в грунт и на питательную среду всходов не дали. В статье приведены результаты укоренения черенков катальпы, заготовленных в мае. В целях интродукционных испытаний местом заготовки определены г. Мытищи и г. Сочи. На основании полученных результатов установлено, что наиболее высокий процент укоренения черенков катальпы отмечен в условиях их проращивания в емкости с водным раствором стимулятора роста и подачей воздуха посредством аквариумного компрессора. В ходе исследований выдвинуто предположение о возможной зависимости степени укоренения и прироста черенков от санитарного состояния деревьев, на которых они были заготовлены. Катальпа бигнониевидная представляет интерес как быстрорастущее декоративное древесное растение, устойчивое к городским условиям, не поражающееся вредителями и болезнями.

Ключевые слова: интродукция, черенки, укоренение, урбанизированные территории, катальпа

Формат цитирования: Савченкова В.А., Махрова Т.Г., Степанова Д.С., Пазавина В.Д. Опыт размножения *Catalpa bignonioides* walter. методом черенкования // Природообустройство. 2024. № 5. С. 127-133. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-127-133>

Original article

THE BREEDING EXPERIENCE OF *CATALPA BIGNONIOIDES* WALTER. BY THE METHOD OF CUTTING

V.A. Savchenkova ✉, T.G. Makhrova, D.S. Stepanova V.D. Pazavina

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National research university), Mytishchi branch; 141005, Moscow region, Mytishchi, 1st Institut'skaya str., 1. Russia

Abstract. The issues of successful green farming in urbanized areas do not lose their relevance. The purpose of this study is to choose the optimal method of reproduction of the bigoniform catalpa by cuttings. An important step is the selection of an assortment of tree species, taking into account their adaptive ability. The article provides a justification for the relevance of this direction, the research methodology used, the characteristics of the material for cuttings and the objects on which the cuttings of the bigoniform catalpa were harvested. The rooting of cuttings harvested in February was only 20%. A positive point was the 100% survival rate of rooted cuttings of winter harvesting. The sowing of catalpa seeds of the reproduction of the Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University in the soil and on the nutrient medium did not produce seedlings. The article presents the results of rooting cuttings of catalpa harvested in May. For the purpose of introduction tests, the city of Mytishchi and the city of Sochi were identified as the place of harvesting. Based on the results obtained, it was found that the highest percentage of catalpa cuttings rootig was noted in conditions of their germination in a container with an aqueous solution of a growth stimulant and air supply by means of an aquarium compressor. During the study, it was suggested that the degree of rooting and growth of cuttings may depend on the sanitary condition of the trees on which they were harvested. Catalpa bigonia is of interest as a fast-growing ornamental woody plant resistant to urban conditions, not affected by pests and diseases.

Keywords: introduction, cuttings, rooting, urbanized territories, catalpa

Format of citation: Savchenkova V.A., Makhrova T.G., Stepanova D.S., Pazavina V.D. The breeding experience of *Catalpa bignonioides* walter. by the method of cutting // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 127-133. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-127-133>

Введение. Успешность формирования устойчивых зеленых насаждений в городских условиях в значительной степени определяется грамотно подобранным ассортиментом древесно-кустарниковых растений. В ходе интродукционных испытаний сотрудники ботанических учреждений оценивают устойчивость интродуцированных растений к климатическим и урбо-экологическим факторам, изучают особенности вегетативного и семенного размножения, то есть оценивают их адаптивные способности [1].

Для городского озеленения могут быть интересны растения, биологические особенности которых отвечают следующим требованиям:

1. Несложный уход: растения не требуют специальных мероприятий для поддержания внешнего вида.

2. Устойчивость к проблемным местам произрастания: засухоустойчивость, устойчивость к избытку влаги, устойчивость к засолению почв.

3. Способность слабо поражаться или не поражаться вовсе вредителями и болезнями.

4. Приспособленность к агрессивной городской среде: дымо- и газоустойчивость.

5. Отсутствие последствий жизнедеятельности, загрязняющих городской ландшафт (пух, неряшливо опадающие плоды).

6. Способность растений привлекать птиц и полезных насекомых в городские сады и парки [2].

Всем этим требованиям в полной мере отвечает катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides* Walter.), которая культивируется на юге России с 1726 г. Это крупное листопадное дерево родом с юго-востока США, в Западной Европе достигает высоты 10-15 м, в Подмосковье растет как дерево или многоствольный кустарник высотой до 4-6 м. Крона – широко раскидистая, округлая, кора тонко пластинчатая, светло-коричневая. Листья – крупные (до 20 см), треугольно-яйцевидные, сверху голые, зеленые, снизу опушенные по жилкам, бархатистые, при растирании издают неприятный запах, осенняя окраска – желтая. Слабо душистые белые цветки – до 5 см длиной, с красно-коричневыми крапинками и двумя желтыми полосками внутри, собраны в рыхлые, широкопирамидальные, крупные, прямостоячие соцветия. Цветет в июле-августе. Продолжительность цветения составляет 20-25 дней. Плоды – узкие стручковидные коробочки до 45 см длиной,

с мелкими семенами, которые висят на дереве в течение всей зимы. Катальпа к почвам нетребовательна, относительно жаростойка и засухоустойчива, устойчива к атмосферным загрязнениям, к вредителям и болезням. В условиях Подмосковья зимостойкость средняя, в суровые зимы растение может повреждаться морозом, однако быстро восстанавливает форму. Молодые растения страдают от низких температур сильнее, с возрастом зимостойкость увеличивается [3]. По данным Главного ботанического сада РАН [4], зимой у растений катальпы обмерзает до 25% однолетних побегов (балл зимостойкости – II), что вполне согласуется с нашими наблюдениями.

В условиях интродукции в регионах с умеренным климатом катальпа бигнониевидная дает невысокий процент полноценно вызревших семян, поэтому их всхожесть, по данным разных авторов, не превышает 10-16% [5-7]. К тому же выращивание посадочного материала из семян – это длительный многолетний процесс, удорожающий саженцы. К достоинствам саженцев, развившихся из черенков, относятся, как правило, более интенсивное ветвление и быстрое зацветание, что обеспечивает максимальный декоративный эффект в молодом календарном возрасте [8]. *Catalpa bignonioides* Walter. отнесена к группе видов древесных растений с относительно низкой регенерационной способностью [9], поэтому целью исследований был подбор оптимальных способов размножения этого вида методом черенкования.

Цель исследований: выбор оптимального способа размножения катальпы бигнониевидной методом черенкования.

Материалы и методы исследований. Работы по черенкованию проводились в соответствии с общепринятой методикой [9]. Побеги, с которых нарезались черенки, брались из средней части кроны растения, с южной стороны. Приросты последнего года, используемые в качестве материала для черенкования, хорошо сформированы, имели достаточное количество живых почек, признаки повреждений или болезней отсутствовали.

Заготовка черенков осуществлялась секатором. Черенки взяты из верхушечной и средней частей однолетнего побега (при получении черенка из средней части побега верхний срез сделан наклонным, прямо над почкой). Оптимальная длина черенка составила 5-10 см (2-3 междоузлия).

Черенки проращивались в лабораторных стаканах с водой, горшочках с грунтом, в емкости, наполненной водой, с дополнением стимулятора роста и подачей воздуха посредством аквариумного компрессора (далее – гидропоника) и в аэропонтном пропегаторе (далее – аэропоника), представляющегом собой устройство, в котором корни катальпы находятся в воздухе и опрыскиваются питательным раствором.

Результаты и их обсуждение. Исследована динамика развития черенков в период 2022 г. (рис. 1). Черенки катальпы в количестве 30 шт. заготовлены 28 февраля с деревьев, произрастающих на территории Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана и жилого микрорайона Леонидовка. Для укоренения 15 шт. поставлены в воду, 15 шт. – в грунт в горшочках.



Рис. 1. Катальпа по состоянию на 14 июля 2023 г., черенкование – февраль 2022 г.

Fig. 1. Catalpa as of 14.07.2023, cuttings February 2022

В грунте не укоренился ни один черенок. В воде появились корни у 3 черенков 25 марта, у 6 черенков – 28 марта.

14 апреля укоренившиеся черенки были пересажены в горшки. После пересадки в течение месяца 7 черенков дали прирост из одной почки.

27 мая горшки с черенками перенесены в грядку посевного отделения. Надземная часть была представлена одним побегом, который не успел одревеснеть.

8 сентября растения из посевного отделения были пересажены на постоянное место. При пересадке обнаружена хорошо развитая корневая система, прирост единственного побега составил 17 см. Зимой прирост погиб. Весеннее возобновление началось 4 мая 2023 г. почками от корневой шейки.

В результате исследования динамики развития черенков в период 2023 г. получены следующие результаты (рис. 2).

11 черенков взяты 13 марта с дерева, произрастающего на территории Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Для укоренения 3 шт. поставлены в воду, 4 – в питательную среду, 4 шт. – в грунт. Ни один из черенков не укоренился. Одновременно были посеяны семена репродукции Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана в грунт и на питательную среду – всходы не появились.

Во второй декаде мая 2023 г. заготовлены черенки катальпы на территории Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана и в г. Сочи. По результатам осмотра деревьев, на которых заготовлены черенки, в таблице 1 приведена характеристика их санитарного состояния.

Таблица 1. Характеристика санитарного состояния деревьев катальпы, на которых заготовлены черенки

Table 1. Characteristics of the sanitary condition of catalpa trees on which cuttings are harvested

Место заготовки черенков <i>Place of harvesting cuttings</i>	Характеристика внешнего состояния деревьев, на которых заготовлены черенки <i>Characteristics of the external condition of trees on which cuttings are harvested</i>	Категория санитарного состояния деревьев, на которых заготовлены черенки <i>Category of the sanitary condition of trees on which cuttings are harvested</i>
г. Сочи <i>Sochi</i>	Равномерно развитая густая крона, насыщенного зеленого цвета листья, отсутствуют повреждения коры и ветвей, хороший прирост (не менее 60 см) <i>Evenly developed dense crown, rich green leaves, no damage to bark and branches, good growth (at least 60 cm)</i>	Здоровые <i>Healthy</i>
г. Мытищи <i>Mytishchi</i>	Отдельные ветви засохли (25% ветвей), крона разреженная, слабый прирост (до 20 см), механические повреждения стволов <i>Some branches have dried up (25% of branches), the crown is sparse, weak growth (up to 20 cm), mechanical damage to the trunks</i>	Ослабленные <i>Weakened</i>

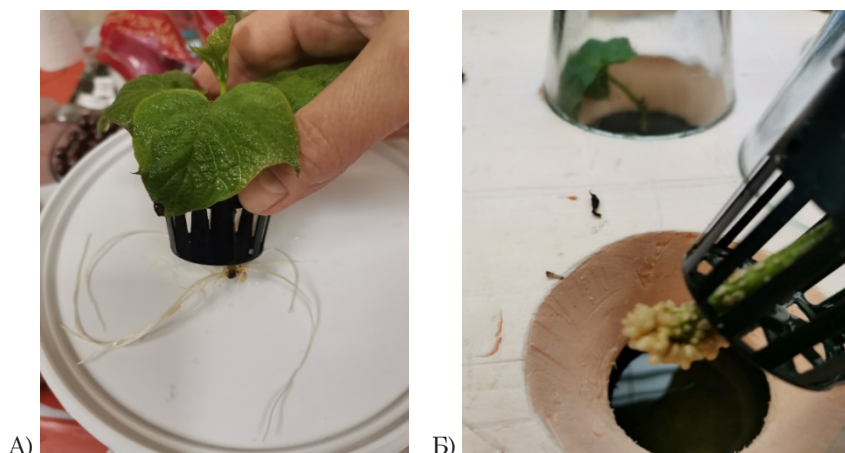


Рис. 2. Укоренение черенка катальпы в гидропонике

Fig. 2. Rooting a catalpa cutting in hydroponics

Ослабление деревьев связано с их возрастом (более 40 лет) и механическими повреждениями стволов.

14 черенков поставлены на укоренение в стакан с водой, 14 – в гидропонику и 14 – в аэропонику. В течение трех недель укоренение не произошло.

5 июня срезы черенков из стакана и гидропоники обновили и все черенки разместили в гидропонике. У черенков в аэропонике обновили срезы и добавили раствор корневина. В гидропонику внесли 1 пакетик корневина. Водный раствор подготовлен из расчета 0,3 г/л.

22 июня было обнаружено, что в гидропонике 16 черенков образовали белые корни (рис. 2А), 9 черенков – хорошо развитый каллус белого цвета с нежно-желтым оттенком (рис. 2Б).

В аэропонике из 14 черенков образовались корни у 10 экземпляров.

29 июня укоренившиеся черенки пересажены в открытый грунт (рис. 3).

В течение 7 дней у 5 черенков с меньшим размером каллуса появился 1 корешок (рис. 4А).

Через 3 дня были отчетливо видны ответвления дополнительных корешков от основной нитки корня.

Размер каллуса у черенков, давших корешок, не изменился (рис. 4А). У черенков без корней каллус немного увеличился (4Б). Цвет каллуса стал светло-желтым.

В период с 3 июля 2023 г. у черенков катальпы в гидропонике начали образовываться новые листики (рис. 5).

14 июля 2023 г. в гидропонику добавлено 5 мл раствора корневина на 50 л воды. Раствор подготовлен из расчета 1 г на 1 л дистиллированной воды).

23 июня 2023 г. в гидропонику и аэропонику (рис. 6) были посажены зеленые черенки катальпы Мытищинского филиала МГТУ



Рис. 3. По состоянию на 14 июля 2023 г. у укоренившихся майских черенков (Сочи) выросли образовавшиеся в гидропонике 3 новых листа и наметились новые (подкормка и мульча в виде перепревшего лошадиного навоза с древесными опилками и стружкой)

Fig. 3. As of 07/14/2023, three new leaves formed in hydroponics have grown in rooted May cuttings (Sochi) and new ones have emerged (feeding and mulch in the form of rotted horse manure with sawdust and shavings)

им. Н.Э. Баумана и микрорайона Леонидовка (г. Мытищи). На 21-й день от даты посадки черенки в аэропонике начали образовывать каллус, а черенки в гидропонике – сразу корни, минуя стадию каллуса. Возможно, по этой причине развитие корневой системы черенков в аэропонике несколько затянулось и отставало по темпам от черенков в гидропонике (табл. 2). Укоренившиеся растения были высажены в грунт из гидропоники 1 августа 2023 г., из аэропоники – 8 августа 2023 г.

Из данных, приведенных в таблице 2, следует, что заготовленные черенки с деревьев на территории Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана имеют более низкую укореняемость, чем

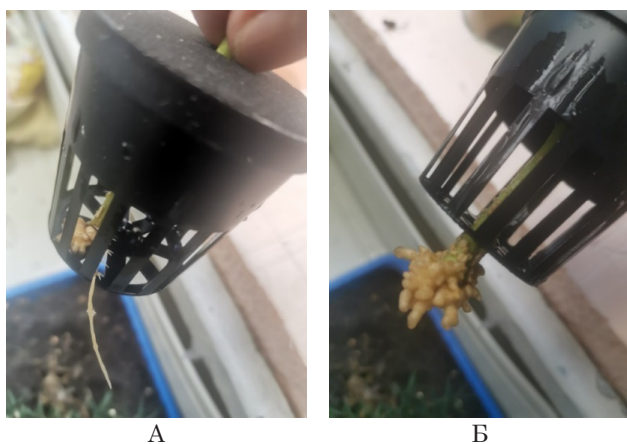


Рис. 4. Состояние корнеобразования у черенков
Fig. 4. Condition of the cuttings' root formation



Рис. 5. Образование новых листьев
Fig. 5. Formation of new leaves



Рис. 6. Черенки катальпы в аэропонике
Fig. 6. Catalpa cuttings in aeroponics

черенки, привезенные из г. Сочи (на 13-24% ниже). Отмечено также снижение прироста первого года роста черенков, заготовленных в Мытищах, по сравнению с черенками, заготовленными в г. Сочи (на 1-2 см в аэропонике и на 2 см в гидропонике).

Корни у черенков образовывались в период 25-30 дней со дня заготовки черенков и размещения их в аэропонике и в гидропонике.

При пересадке в открытый грунт приживаемость черенков с образовавшимися корешками составила 100%, однако укоренившиеся черенки, с учетом степени развитости корневой системы, высажены с разницей в 7 дней.

На рисунке 7 приведено соотношение состояния корневой системы, образовавшейся у черенков в аэропонике и в гидропонике. Для оценки степени укоренения черенков принята в качестве эталонной степени их приживаемости корневая система (рис. 2А). Степень развития корневой системы черенка, приведенного на рисунке 2А, приравнена к значению 1 (100%), так как его корневая система имеет самую развитую среди исследуемых черенков структуру, наибольшее количество и длину корневых отростков с многочисленными боковыми ответвлениями.

Из данных рисунка 7 следует, что наиболее развитая корневая система и в большем количестве образовалась у черенков катальпы, заготовленных в условиях г. Сочи, проращивание которых проводилось в гидропонике. Черенки, заготовленные в условиях г. Мытищи на территории Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, как в гидропонике, так и в аэропонике, имели наименее развитые корешки и у меньшего количества черенков.

На текущем этапе исследований выдвинуто предположение о возможной зависимости степени укоренения и прироста черенков от санитарного состояния деревьев, на которых они были заготовлены.

С учетом изложенного принято решение продолжить эксперимент с заготовкой черенков только на здоровых деревьях (без признаков ослабления), которые обнаружены на территории г. Мытищи.

Таблица 2. Учет данных о состоянии черенков
Table 2. Accounting for data on the condition of cuttings

Условия укоренения <i>Conditions of rooting</i>	Место заготовки черенков <i>Place of harvesting of cuttings</i>	Период черенкования <i>Cutting period</i>	Степень укоренения, % <i>Degree of rooting, %</i>	Прирост первого года роста, см <i>The increase in the first year of growth, cm</i>
В аэропонике <i>In aeroponics</i>	г. Сочи / Sochi	Последняя декада мая <i>The last ten days of May</i>	73	4-6
	г. Мытищи / Mytishchi		49	3-4
В гидропонике <i>In hydroponics</i>	г. Сочи / Sochi	Последняя декада мая <i>The last ten days of May</i>	89	5-6
	г. Мытищи / Mytishchi		76	3-4

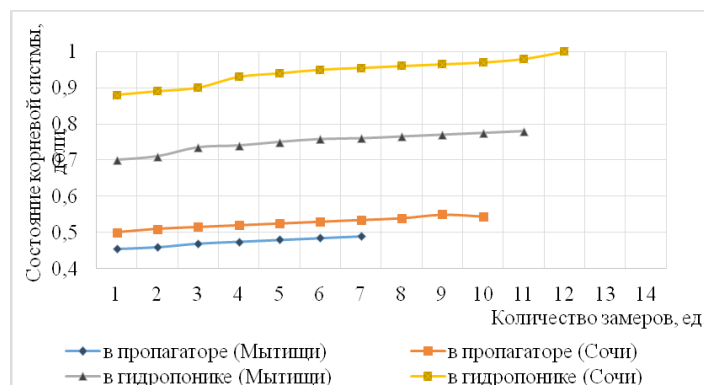


Рис. 7. Соотношение состояния корней, образовавшихся у черенков катальпы

Fig. 7. Ratio of the condition of the roots formed in catalpa cuttings

Выводы

Катальпа бигнониевидная представляет интерес как быстрорастущее декоративное древесное растение, устойчивое к городским условиям, не поражающееся вредителями и болезнями. Однако более широкое применение ее в насаждениях Москвы и Московской области требует производства большого количества качественного посадочного материала.

Список использованных источников

1. Репецкая А.И. Ассортимент для городского озеленения: взгляд ботаника, питомниковода, ландшафтного архитектора и чиновника // Ботанические сады в современном мире. 2023. № 3. С. 153-157. DOI: 10.24412/cl-36595-2023-3-153-157.
2. Соколова Т.А. Декоративное растениеводство. Древодводство: учебник. 3-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 352 с.
3. Баженов Ю.А., Лысиков А.Б., Сапелин А.Ю. Декоративные деревья и кустарники: иллюстрированный справочник. М.: Фитон+, 2012. 240 с.
4. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук, 60 лет интродукции / Российская академия наук, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина; Отв. ред. А.С. Демидов. М.: Наука, 2005. 586 с.
5. Арестова Е.А. *Catalpa* Scop. в зеленых насаждениях города Саратова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». 2011. № 2. С. 124-125.
6. Грицан А.В. Перспективы культивирования катальпы бигнониевидной (*Catalpa bignonioides* Walt.) в условиях г. Благовещенска // Молодежный вестник Дальневосточной аграрной науки: Сборник студенческих научных трудов. Вып. 6. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2021. С. 74-79.
7. Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В. Опыт интродукции видов рода *Catalpa* Scop. в ботаническом саду г. Уфы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4-1. С. 245-247.
8. Артюхова А.В., Сорокопудова О.А. Особенности размножения *Catalpa bignonioides* Walt. в условиях Подмосквья // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. № 50. С. 38-43.

Определено, что черенкование катальпы в летний период (июнь) дает более высокий показатель укоренения (49-89%), чем зимний.

Опытным путем установлено, что в гидропонике укоренение черенков в 1,2-1,6 раза выше по сравнению с аэропоникой. Целесообразно продолжить исследования по отработке технологии ее вегетативного размножения, уделяя особое внимание методам черенкования с применением современных технических средств укоренения.

References

1. Repetskaya A.I. Assortment for urban landscaping: the view of a botanist, a nurseryman, a landscape architect and an official // Botanical gardens in the modern world, No. 3, 2023. P. 153-157. doi: 10.24412/cl-36595-2023-3-153-157
2. Sokolova T.A. Decorative crop production. Arboriculture: a textbook for students of higher educational institutions. 3-e edition, corrected. Moscow: Publishing center «Akademiya», 2008, 352.
3. Bazhenov Yu.A., Lysikov A.B., Sapelin A.Yu. Ornamental trees and shrubs. An illustrated reference book.. Moscow, Fiton+, 2012, 240 p.
4. Demidov A.S. Woody plants of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences: 60 years of introduction. M.: Nauka, 2005. 586 s.
5. Arestova E.A. *Catalpa* Scop. in the green spaces of the city of Saratov. Bulletin of the Voronezh state university. Series: Geography, 2011, No 2, P. 124-125.
6. Gritsan A.V. Prospects for the cultivation of *Catalpa bignonioides* (Catalpa bignonioides Walt) in the conditions of Blagoveshchensk // Youth bulletin of the Far East agrarian science. Collection of students scientific works. Vol. 6. Blagoveshchensk: Far East GAU, 2021. P. 74-79 ISBN978-5-9642-0454-1.
7. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V. Experience in the introduction of species of the genus *Catalpa* Scop in the botanical garden of Ufa. Izvestiya of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences, vol. 17, no. 4-1, 2015, P. 245-247.
8. Artyukhova A.V., Sorokopudova O.A. Reproduction features of *Catalpa bignonioides* Walt. in the conditions of the Moscow region // Fruit growing and berry growing of Russia. 2017. № 50. P. 38-43.
9. Dovbysh N.F. Assessment of the regenerative capacity of some woody plants introduced to Donbass

9. **Довбыш Н.Ф.** Оценка регенерационной способности некоторых древесных растений, интродуцированных в Донбассе // Ботанические сады: состояние и перспективы сохранения, изучения, использования биологического разнообразия растительного мира: Тезисы докладов Международной научной конференции, посвященной 70-летию со дня основания ЦБС НАН Беларуси. Минск, 2002. С. 89-90.

10. **Ермаков Б.С.** Размножение древесных и кустарниковых растений зеленым черенкованием. Кишинев: «Штиинца», 1981. 221 с.

Об авторах

Вера Александровна Савченкова, д-р с.-х. наук, доцент ВАК, Researcher ID: Y-3167-2019 orcid: 0000-0001-8593-7887; v9651658826@yandex.ru

Татьяна Густавовна Махрова, заведующая дендрологическим садом Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана; mathilda2604@mail.ru

Дарья Сергеевна Степанова, дендролог, соискатель
Валерия Дмитриевна Пазавина, бакалавр

botanical gardens: the state and prospects of conservation, study, and use of the biological diversity of the plant world: Abstracts of the reports of the International scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the founding of the CBS of the National Academy of Sciences of Belarus, 2002, P. 89-90.

10. **Ermakov B.S.** Propagation of woody and shrubby plants by green cuttings. Kishinev «Shtiintsa», 1981, 221 p.

About the authors

Vera A. Savchenkova, DSc (Agro), associate professor of the Higher Attestation Commission, Researcher ID: Y-3167-2019 orcid: 0000-0001-8593-7887; v9651658826@yandex.ru

Tatyana G. Makhrova, Head of the Arboretum garden of the Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University; mathilda2604@mail.ru

Daria S. Stepanova, dendrologist, applicant
Valeria D. Pazavina, bachelor

Критерии авторства / Criteria of authorship

Савченкова В.А., Махрова Т.Г., Степанова Д.С., Пазавина В.Д. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Афониная Т.Е., Пономаренко Е.А., Просвирнин В.Ю. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали 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 20.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 01.11.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 01.11.2024

Savchenkova V.A., Makhrova T.G., Stepanova D.S. Pazavina V.D. carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Savchenkova V.A., Makhrova T.G., Stepanova D.S. Pazavina V. D have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-134-142>

УДК 630*182: 911.52 (571.51)



ПРИМЕНЕНИЕ ЗОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ КРАСНОЯРСКА И ПРИГОРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Г.А. Демиденко

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

Аннотация. Зональная технология при формировании разных типов рекреационных ландшафтов учитывает природные зональные факторы природной среды (климат, рельеф, почвенно-растительный покров) и применение адаптированных ландшафтно-архитектурных решений при создании ландшафтного дизайна рекреационных территорий Красноярска и его пригородных территорий. Создание благоприятных условий проживания, восстановления сил и трудоспособности городского населения с использованием природно-антропогенных и антропогенных типов рекреационных ландшафтов является сегодня актуальной задачей. Практическая значимость исследований заключается в предложении древесно-кустарниковых и цветочных растений для создания фитокомпозиций в рекреационных ландшафтах города. Новизна исследований заключается в применении архитектурно-планировочных решений (подбор ассортимента древесно-кустарниковой растительности и их видового разнообразия; расширение ассортимента растений цветников, цветовой гаммы для цветотерапии; учет перспективы «Эффект глубины»). Уникальность заключается в возможности использования цветовой гаммы цветов цветотерапии, способной выступать в виде профилактики некоторых заболеваний человека.

Ключевые слова: зональная технология, типы рекреационных ландшафтов, ландшафтно-архитектурные решения, ландшафтный дизайн, Красноярск и пригородные территории, юг Сибири

Формат цитирования: Демиденко Г.А. Применение зональной технологии при формировании рекреационных ландшафтов Красноярска и пригородных территорий // Природообустройство. 2024. № 5. С. 134-142. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-134-142>

Original article

APPLICATION OF ZONAL TECHNOLOGY IN THE FORMATION OF RECREATIONAL LANDSCAPES OF KRASNOYARSK AND SUBURBAN AREAS

G.A. Demidenko

Krasnoyarsk State Agrarian University; 660049, Krasnoyarsk, Mira ave. 90, Russia

Abstract. Zonal technology in the formation of different types of recreational landscapes takes into account natural zonal environmental factors (climate, relief, soil and vegetation cover) and the use of adapted landscape and architectural solutions in the creation of landscape design of recreational areas of Krasnoyarsk and its suburban areas. To create favorable living conditions, restore strength and work capacity of the urban population, natural landscapes are used and natural – anthropogenic and anthropogenic types of recreational landscapes are formed. Our research has shown the wide possibility of using an assortment of winter-hardy woody and shrubby plants and herbaceous flower plants with high decorative properties in the natural conditions of Krasnoyarsk. The novelty of the research lies in the application of architectural and planning solutions (selection of the assortment of tree and shrub vegetation and their species diversity; expansion of the range of plants in flower beds; color scheme for color therapy; taking into account perspective – “Depth effect”. The uniqueness lies in the possibility of using the color scheme of color therapy, which can act as a prevention of some human diseases.

Keywords: zonal technology, types of recreational landscapes, landscape and architectural solutions, landscape design, Krasnoyarsk and suburban areas, south of Siberia

Format of citation: Demidenko G.A. Application of zonal technology in the formation of recreational landscapes of Krasnoyarsk and suburban areas // Prirodoobustrojstvo. No. 5, 2024. P. 134-142. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-134-142>

Введение. Территории, выделенные и организованные для туризма и отдыха людей, относятся к рекреационным ландшафтам. Природные ландшафты отражают взаимозависимость компонентов природной среды (геологического строения, рельефа, климата, почв, растительных сообществ). Природно-антропогенные и антропогенные типы рекреационных ландшафтов преобразованы деятельностью человека для создания благоприятных условий проживания, восстановления сил и трудоспособности городского населения [1-4].

Актуальным является использование зональной технологии в сибирских условиях антропогенной измененной среды в городах и пригородных зонах для посадки и произрастания древесных и травянистых растений в селитебных экосистемах. Зональная технология формирования типов рекреационных ландшафтов учитывает как природные зональные факторы окружающей среды, так и возможность применения ландшафтно-архитектурных решений при создании ландшафтного дизайна рекреационных территорий.

Цель исследований: применение зональной технологии с учетом оценки взаимосвязей компонентов ландшафта в рекреационных (природных, природно-антропогенных и антропогенных) ландшафтах Красноярска и пригородных территорий; использование ландшафтно-архитектурных решений при создании ландшафтного дизайна антропогенных рекреационных территорий.

Материалы и методы исследований. Город Красноярск – крупный промышленный центр, транспортный узел Средней Сибири и самый восточный город-миллионер России. Расположен он на обоих берегах реки Енисей, в среднем его течении, на стыке трех физико-географических стран: Западно-Сибирской низменности, Среднесибирского плоскогорья и отрогов Восточного Саяна.

Объектом исследований являются типы рекреационных ландшафтов Красноярска и пригородных территорий: природные (сосновые боры и березово-сосновые пригородные леса); природно-антропогенные (Эко-парк «Гремячая грива»; Национальный парк «Красноярские Столбы»); антропогенные (Центральный парк, Парк имени

Юрия Гагарина, Сквер Строителей, Сквер Космонавтов, Сквер Чернышевского и другие скверы и парки города).

Основной метод исследования – экологический мониторинг, позволяющий проводить оценку, наблюдение и прогноз состояния природной среды в связи с антропогенной деятельностью человека. Морфолого-ботанический анализ деревьев и кустарников [5], используемых при создании ландшафтного дизайна в Красноярске, показал возможность их использования в сибирских условиях. При оценке декоративности цветочных культур [6, 7] каждый признак декоративности оценивался по 5-балльной шкале.

Исследования выполнены на кафедре ландшафтной архитектуры и ботаники Института агроэкологических технологий ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Результаты и их обсуждение. Зональная технология формирования типов рекреационных ландшафтов. Долина Енисея является ступенчатой эрозионно-аккумулятивной равниной со сложной геоморфологией и выраженным террасовым комплексом, в пределах которой располагается основная часть города. На красноярской надпойменной террасе, выраженной в Красноярске и имеющей полого-холмистый рельеф, располагается основная часть города. Красноярская лесостепная предгорная равнина и отроги Восточного Саяна занимают северо-западную часть города.

Климат является ведущим ландшафтообразующим фактором при создании рекреационных ландшафтов. Красноярск находится в умеренном поясе Евразии с резко континентальным типом климата, который смягчается влиянием Красноярского водохранилища и Енисеем, не замерзающим зимой.

В Красноярске климатические условия отличаются высокой степенью континентальности (57-58%), достаточной влагообеспеченностью и недостатком теплообеспеченности. Сумма температур больше 10°C составляет 1600; гидротермический коэффициент – 1,6. При среднем количестве осадков 475 мм за вегетационный период выпадает 315 мм. Особенностью климата является устойчивое промерзание почв.

Таблица 1. Основные компоненты природы в разных типах
рекреационных ландшафтов Красноярска и пригородных территорий
Table 1. The main components of nature in different types of recreational landscapes of Krasnoyarsk and suburban areas

Рекреационные ландшафты Recreational landscapes	Основные компоненты ландшафта Main components of landscape					Природная зона Natural zone
	Физико-географическая страна Physical-geographical country	Рельеф Relief	Сообщество растений Association of plants	Почвы Soils		
	Природные рекреационные ландшафты / Natural recreational landscapes					
Сосновые боры Coniferous forests	Отроги Восточного Саяна Spurs of the Eastern Sayan Mountain	Горно-равнинный Mountainous-flat	Сосняки Pine trees	Серая лесная оподзоленная Grey forest podzolized	Подтайга Subtaiga	
Березово-осиновые леса Birch-aspen forests	Западно-Сибирская низменность West-Siberian low land	Холмисто-равнинный Hilly-flat	Березняки, осинники, лиственничники; степные сообщества Birch forests, aspen forests, larch forests; steppe associations	Серая лесная, чернозем оподзоленный Grey forest, chernozem (black soil) podzolized	Лесостепь, степь Forest steppe, steppe	
	Природно-антропогенные рекреационные ландшафты / Natural - anthropogenic recreational landscapes					
Национальный парк «Красноярские Столбы» (туристическая зона) National park "Krasnoyarskie Stolby" (tourist zone)	Отроги Восточного Саяна, Среднесибирское плоскогорье, межгорные впадины Spurs of the Eastern Sayan Mountain, Central Siberian plateau, intermountain depressions	Горный, равнинный Mountainous, flat	Сосняки, лиственничники, березняки, осинники; степные сообщества Pine trees, larch forests, birch forests, aspen forests, steppe associations	Серая лесная, чернозем выщелоченный, чернозем выщелоченный Grey forest, chernozem (black soil) ordinary, chernozem leached	Подтайга, лесостепь, степь Subtaiga, forest steppe, steppe	
	Антропогенные рекреационные ландшафты / Anthropogenic recreational landscapes					
Центральный парк Central park	Речная долина Енисея The Yenisei River Valley	Равнинный Flat	Ландшафтный дизайн Landscape design	Агро-почвы, агроземы Agro-sols, agrozems	Подтайга, лесостепь Subtaiga	
Парк им. Юрия Гагарина Park named after Yuri Gagarin	Западно-Сибирская низменность West-Siberian low land	Равнинный Flat	Ландшафтный дизайн Landscape design	Агро-почвы, агроземы Agro-sols, agrozems	Лесостепь, степь Forest steppe, steppe	
Сквер Строителей Square of builders	Западно-Сибирская низменность West-Siberian low land	Равнинный Flat	Ландшафтный дизайн Landscape design	Городские почвы (урбаноземы) Urban soils (urbanzems)	Лесостепь Forest steppe	
Сквер Космонавтов Square of cosmonauts	Западно-Сибирская низменность West-Siberian low land	Равнинный Flat	Ландшафтный дизайн Landscape design	Городские почвы (урбаноземы) Urban soils (urbanzems)	Лесостепь Forest steppe	

Почвенный покров пригородных территорий лесостепных и степных ландшафтов представлен серыми лесными почвами и черноземами. Почвы городской среды обладают морфологическими характеристиками, резко отличающимися от зональных почв пригородных территорий [8, 9].

По биоклиматическому районированию Красноярского края г. Красноярск относится к природным ландшафтам подтайги, лесостепи и степи.

Зональная технология формирования типов рекреационных ландшафтов (природных, природно-антропогенных, антропогенных) предусматривает учет структуры и факторов формирования ландшафтов [10] (табл. 1).

Анализ таблицы 1 показал проявление зональной закономерности и особенностей антропогенного влияния при формировании разных типов рекреационных ландшафтов.

Природные и природно-антропогенные рекреационные ландшафты пригородных территорий Красноярска сохраняют естественное равновесие между компонентами ландшафта. Антропогенные рекреационные ландшафты Красноярска подразделяются на подтипы: 1. Антропогенно-естественный ландшафт, который имеет агропочвы и агроземы (в отличие от природных почв в их морфологии строения созданы агрогумусовые горизонты). 2. Антропогенно-искусственный ландшафт, представленный урбаноземами (имеет поверхностный органоминеральный слой, состоящий из насыпных, погребенных, перемешанных материалов антропогенного (урбаногенного) происхождения, дающий возможность произрастать зеленым насаждениям и обладающий способностью адсорбировать загрязняющие вещества).

Ландшафтно-архитектурные решения создания дизайна антропогенных рекреационных ландшафтов. Зеленые насаждения способны улучшать климатические характеристики в антропогенных рекреационных ландшафтах [11]. В литературе автора рассмотрены возможности использования древесно-кустарниковой и травянистой растительности при создании фитокомпозиций ландшафтного дизайна Красноярска [12-15].

В условиях городской среды, особенно среди плотной застройки, температура воздуха на 9-12% выше, чем в зеленых насаждениях. Зеленые насаждения создают комфортные условия для человека. От размеров зеленого массива зависит температурная разница. Сочетание зеленых массивов и открытых территорий

способствует движению воздуха, проветривающего и охлаждающего территорию. В зимнее время среди зеленых насаждений температура воздуха выше, чем на открытых пространствах.

Ландшафтно-архитектурные решения при создании ландшафтного дизайна антропогенных рекреационных ландшафтов предусматривают: подбор ассортимента древесно-кустарниковой растительности и повышение их видового разнообразия, ассортимента декоративных растений цветников; создание цветотерапии; учет перспективы «Эффект глубины».

Ассортимент древесно-кустарниковой растительности. Климатические показатели лимитируют ассортимент использования древесно-кустарниковой растительности при создании антропогенных рекреационных ландшафтов.

С учетом климатических условий Красноярска возможно применение древесно-кустарниковой растительности в насаждениях, используемых в ландшафтном дизайне (табл. 2).

Анализ данных таблицы 2 показывает широкую возможность использования древесно-кустарниковой растительности в сибирских условиях. Использование кустарников является наиболее эффективным в рекреационных ландшафтах г. Красноярска. Зимостойкость используемых растений позволяет произрастать в суровых условиях сибирского климата. Многие из них имеют высокую декоративность. Декоративные растения находят широкое применение в озеленении в условиях не только резко континентального климата, а и полого-холмистого рельефа Красноярска.

Использование предложенного ассортимента связано с особенностью климатических условий Красноярска, зимостойкостью, нетребовательностью к почвам. Ассортимент использования декоративных древесных растений расширяется в последние годы: например, туя западная (*Thuja occidentalis*), спирея японская (*Spiraea japonica*) (рис. 1), используются в фитокомпозициях парков и скверов Красноярска.

Расширение видового разнообразия. Безусловно, расширение видового разнообразия дает возможности для ландшафтно-архитектурных решений в рекреационных ландшафтах города.

В фитокомпозициях, например, по периметру посадок высаживается кустарник дерена белого, который поддается формовке и интересно смотрится для посетителей. Дерен белый красиво смотрится во все сезоны и украшает участок даже в хмурую погоду (рис. 2). В дизайне сквера дерен белый «играет» всеми своими гранями: декоративны кора, листья, побеги, соцветия. Для

Таблица 2. Перечень деревьев и кустарников, предлагаемый
для создания ландшафтного дизайна в Красноярске

Table 2. The list of trees and shrubs proposed for the creation of landscape design in Krasnoyarsk

Перечень деревьев и кустарников, используемых при создании ландшафтного дизайна в Красноярске <i>The list of trees and shrubs used for the creation of landscape design in Krasnoyarsk</i>	
Деревья / Trees	
Боярышник сибирский (<i>Crataegus sanguinea</i>)	Ель колючая (<i>Picea pūngens</i>)
Ива белая (<i>Salix álba</i>)	Ель Сибирская (<i>Pícea obováta</i>)
Рябина обыкновенная (<i>Sórbus aucupária</i>)	Лиственница сибирская (<i>Lárix sibíríca</i>)
Липа мелколиственная (<i>Tília cordáta</i>)	Пихта сибирская (<i>Ábies sibíríca</i>)
Орех маньчжурский (<i>Juglans mandshurica</i>)	Сосна обыкновенная (<i>Pínus sylvéstris</i>)
Клен остролистный (<i>Ácer platanóides</i>)	Сосна сибирская (<i>Pínus sibíríca</i>)
Кустарники / Shrubs	
Барбарис обыкновенный (<i>Bérberis vulgáris</i>)	Калина бульденеж (<i>Vibúrnum ópulus</i>)
Барбарис Тунберга (<i>Berberis thunbergii</i>)	Можжевельник казацкий (<i>Juníperus sabína</i>)
Дерен белый (<i>Cornus alba</i>)	Курильский чай (<i>Dasiphora</i>)
Пузыреплодник калинолистный (<i>Physocarpus opulifolius</i>)	Аморфа кустарниковая (<i>Amorpha fruticosa</i>)
Кизильник блестящий (<i>Cotoneaster lucidus</i>)	Сирень венгерская (<i>Syringa josikaea</i>)
Тамарикс розовый (<i>Tamarix ramosissima</i>)	Рябинник рябинолистный (<i>Sorbaria sorbifolia</i>)
Смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i>)	Форзиция (<i>Forsythia</i>)
Роза рогоза (<i>Rosa rugosa</i>)	Ива белая (<i>Salix álba</i>)
Спирея обыкновенная (<i>Spiraéa salicifolia</i>)	Ива пурпурная «Нана» (<i>Salix purpurea «Nana»</i>)
Чубушник (жасмин) (<i>Philadelphus</i>)	Ива курайская (<i>Salix ledebouriana f. kuraica</i> Liss)
И другие	



Рис. 1. Визуализация рокария
с использованием спиреи японской
(*Spiraеа japonica*)

Fig. 1. Visualization of a rockery
using Japanese spirea (*Spiraеа japonica*)



Рис. 2. Фитокомпозиция
с использованием дерена белого
(*Cornus alba*)

Fig. 2. Phytocomposition using white turf
(*Cornus alba*)

добавления света в сквер дерен белый является подходящим вариантом, его белое окаймление в летний период создает ощущение хлопьев снега на кустарнике. Дерен белый прекрасно сочетается с существующими березами и подчеркивает естественную природу сквера.

Ассортимент декоративных растений цветников. Улучшение городской среды с применением декоративно-цветочного оформления позволяет привносить в ландшафтный дизайн яркость, красоту, гамму цвета и дарит человеку радость и надежду [2, 16-18].

В г. Красноярске на территории антропогенных рекреационных ландшафтов размещаются цветники [2]. Эффектный декор города в течение всего лета обеспечивают клумбы из быстро появляющихся и обильно цветущих многолетних (алиссум, иберис, люпин и др.) и однолетних (петунии, виолы, львиный зев, тагетесы (бархатцы) и др.).

Представители однолетних и многолетних цветковых растений клумб и других форм цветочного оформления сибирского города отличаются неприхотливостью и выносливостью.

Цветочное оформление Красноярска начинается ежегодно ранней весной, когда на клумбах и цветниках города расцветает порядка 1 млн высаженных тюльпанов. После того, как они отцветут, цветники и клумбы займут цветы-однолетники (рис. 3).

Цветники также расположены в скверах г. Красноярска. Например, цветник вдоль главной тропы скверов позволяет исправить резкие перепады от бордюра к грунту. Визуально исправить этот дефект поможет яркость цветника: на первый ярус подбираются китайские

ромашки или эхинацея, которые смотрятся довольно красиво и ярко и которые нетребовательны к агротехническим условиям произрастания. Во второй ярус, высота которого достигает 1 м, высаживаются фиолетовые флоксы Вилсон. Это неприхотливые, зимостойкие и устойчивые к неблагоприятным погодным условиям цветы. Аромат флокса обычно ассоциируется с тихим уютным домом, спокойствием и комфортом. На третьем ярусе останется произрастать сирень Венгерская.

У цветочных растений цветников продолжительность жизненного цикла составляет один сезон. В основу оценки декоративности цветочных растений входят важные декоративные признаки: окраска соцветия (длина и яркость); цветонос; соцветие (размер и форма); махровость; оригинальность; обилие цветения; состояние растений; устойчивость цветения к неблагоприятным метеорологическим условиям [6, 7].

Ландшафтно-архитектурная оценка декоративных растений цветников г. Красноярска представлена в таблице 3.

Анализ данных таблицы 3 показал, что на объектах цветочного оформления г. Красноярска состояние декоративных растений оценивается в 5, 4, и очень редко – в 2 балла. У данного показателя наблюдается положительная динамика. Не встречаются растения с оценкой декоративности в 1 балл.

Цветотерапия. Использование цветов, заключенных в изобразительные формы с помощью цветовых сочетаний, как метод цветочной терапии способствует профилактике некоторых заболеваний [19]. В г. Красноярске примером подбора цветовой гаммы в сквере Чернышевского является цветосочетание

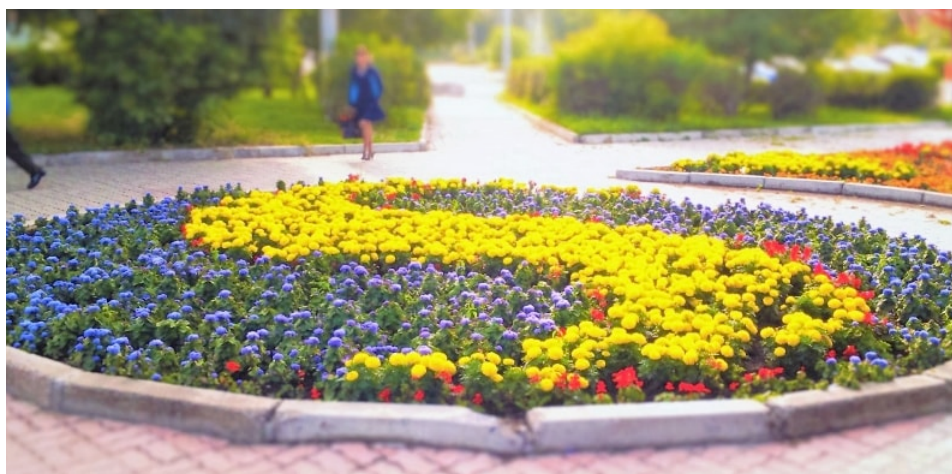


Рис. 3. Клумба радиальной планировки, состоящая из однолетних растений: агератум, тагетес (расположена перед администрацией Свердловского района г. Красноярска)

Fig. 3. A flowerbed of a radial layout, consisting of annual plants: ageratum, tagetes (located in front of the administration of the Sverdlovsk district of the city of Krasnoyarsk)

Таблица 3. Оценка декоративности растений цветников в г. Красноярске
(на примере парков и скверов)Table.3. Assessment of decorative plants of flower beds in Krasnoyarsk
(using the example of parks and squares)

Объект цветочного оформления	Виды растений	Уровень декоративности растений, балл				
		5	4	3	2	1
Красная площадь (вариант 1) <i>Red Square (option 1)</i>	Петуния Бонанза	-	+	-	-	-
Красная площадь (вариант 2) <i>Red Square (option 2)</i>	Петуния Алладин Красная	+	-	-	-	-
Парк им. 1 Мая <i>Park named after May 1</i>	Петунии: Афродита Белая, Александра, Свитуния Старфиш	+	-	-	-	-
Сквер «Серебряный» <i>Garden «Silver»</i>	Петунии: Ассоль, Афродита Белая	+	-	-	-	-
Красная площадь <i>Red Square</i>	Петунии: Валентайн, Анастасия Кохия веничная	+	-	-	-	-
Парк «Гвардейский» <i>Park «Gvardeysky»</i>	Петуния Вера; тагетес Лунная рапсодия; Кохия веничная	+	-	-	-	-
Площадь ДК 1 Мая <i>DC Square on May 1st</i>	Петуния Свитуния Старфиш, Тагетес Квин София, Кохия волосистая	-	+	+	-	-
Сквер «Карнетовский» <i>Karnetovsky Square</i>	Петунии: Алладин Красная, Алладин Белая, пШок Вейв Роу; Кохия волосистая	-	+	-	-	-
Парк им. Юрия Гагарина <i>Park named after Yuri Gagarin</i>	Петуния Афродита Белая, Сальвия Плейона	+	-	-	-	-
Сквер по улице Республики <i>The square on Republic Street</i>	Цинерария серебристая, Агератум Голубая Муфточка	-	+	+	-	-
Сквер «Солнечный» <i>Sunny Square</i>	Цинерария серебристая, сальвия Плейона, Тагетес Квин София, Петунии: Александра, Мио Белая, Виола: Шведские гиганты, Кавказская Кохия густоцветковая	-	+	+	-	-
Сквер «Фестивальный» <i>Festivalny Square</i>	Тагетес Лунная рапсодия, Кохия волосистая	-	-	+	-	-
Парк «Молодежный» <i>Molodezhny Park</i>	Тагетес Квин София, агератум Голубая Муфточка, Кохия густоцветковая	+	-	-	-	-
Сквер Строителей <i>Builders Square</i>	Тагетес: Квин София, Лимонный гранат	+	-	-	-	-
Парк им. 400-летия города Красноярска <i>Park named after the 400th anni- versary of the city of Krasnoyarsk</i>	Тагетес Лимонный гранат, петуния Анастасия, петуния Свитуния Старфиш	-	+	-	-	-
Сквер «30 лет Победы» <i>Park «30 years of Victory»</i>	Тагетес Балеро, сальвия Плейона	-	-	+	+	-
Сквер Космонавтов <i>Cosmonauts Square</i>	Тагетес Балеро, сальвия Плейона, Кохия веничная	-	+	-	-	-
Сквер «Северное сияние» <i>Northern Lights Square</i>	Львиный зев Аляска, Львиный зев Вельвет джайнт	-	+	-	-	-
Площадь «Якорная» <i>Yakornaya Square</i>	Сальвия Плейона, цинерария серебристая, Кохия веничная	-	+	-	-	-
Центральный парк <i>Central Park</i>	Виола (смесь)	-	+	-	-	-
Набережная реки Енисей <i>The embankment of the Yenisei River</i>	Тагетес Балеро, Петунии Афродита Белая, Ассоль, Кохия волосистая	-	+	+	+	-

сиреневого цвета (сирень обыкновенная, посаженная по всей территории сквера) и цветов в белых и фиолетовых тонах, высаженных рядом с сиренью. В фиолетовом цвете заключается некая таинственность, он является одним из интересных цветов, притягивающим взгляды людей. Белый цвет означает безграничность, обладает огромной силой и способностью побуждать людей к действию. Такое цветовосприятие усиливает восприятие и улучшает визуализацию территории.

Учет перспективы «Эффект глубины». Если на заднем плане расположить растения с мелкими однородными листьями, а на переднем – с крупными и рельефными, композиция будет казаться более глубокой. Следуя этому правилу, на заднем фоне располагают кустарник кизильник блестящий, как живую изгородь, на переднем плане – кусты сирени венгерской с крупными соцветиями, а также флоксы и ромашки. Рядом расположены подпадающиеся формовке хвойные деревья: например, ель

сибирская – один из лучших вариантов для небольших территорий.

Выводы

1. Применение зональной технологии с учетом знания региональных природно-климатических особенностей (рельефа, климата, почв, растительности) позволяет подобрать ассортимент древесно-кустарниковой растительности, обладающей зимостойкостью и декоративностью.

2. Использование архитектурно-планировочных решений (подбор ассортимента древесно-кустарниковой растительности и их видового разнообразия, ассортимента растений цветников, цветовой гаммы для цветотерапии; учет перспективы «Эффект глубины») улучшает объекты ландшафтного дизайна города.

3. Древесные и травянистые растения, безусловно, повышают комфортность городской среды, способствуя восстановлению сил и здоровья горожан.

Список использованных источников

1. **Радько О.** Рекреационные ландшафты // Ландшафтный дизайн. 2000. № 4. С. 52-59.
2. **Демиденко Г.А.** Ландшафтный дизайн городской среды (на примере города Красноярск): монография. Красноярск: КрасГАУ, 2021. 172 с.
3. **Сокольская О.Б.** История садово-паркового искусства. Учебник для студентов вузов. М.: Инфра-М, 2004. 350 с.
4. **Bradley-Hole C.** The Minimalist Garden. London: Mitchell Beazley, 1999. 208 p.
5. Определитель растений юга Красноярского края. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1979. 669 с.
6. **Былов В.Н.** Основы сравнительной сортооценки декоративных растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений: сборник статей. М., 1978. С. 7-32.
7. Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений / Отв. ред. В.Н. Цицин; Главный ботанический сад АН СССР. М.: Наука, 1978. 156 с.
8. **Craul P.G.** Urban soil in landscape design. New York: Macmillan, 1992. 396 p.
9. Bullock ed P.J. Gregory. Soil in the Urban Environments. Oxford: Blakwell Scientific publications, 1991. 174 p.
10. **Демиденко Г.А., Шевцова Л.Н.** База данных «Почвенно-климатическая характеристика природных зон (подзон) Приенисейской Сибири: Свидетельство № 2023621735. Дата государственной регистрации в Реестре баз данных – 29.05.2023 г.
11. **Авдеева Е.В.** Зеленые насаждения городов Сибири: Красноярск. СибТГУ, 2000. – ISBN5-8173-0076-1.
12. **Демиденко Г.А.** Создание ландшафтных фитокомпозиций с использованием эфиромасличных растений // Вестник КрасГАУ. 2019. № 5. С. 75-80.
13. **Demidenko G.A., Keler V.V., Khizhnyak S.V.** Plants species for ecological landscaping in urban territory in Central Siberia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 315. P. 052076.

References

1. **Radko O.** Recreational landscapes // Landscape design. 2000. No 4. P. 52-59.
2. **Demidenko G.A.** Landscape design of the urban environment (using the example of the city of Krasnoyarsk) Krasnoyarsk: KrasGAU, 2021. 172 p.
3. **Sokolskaya O.B.** History of garden – park art / O.B. Sokolskaya. M.: Infra M. 2004. 350 p.
4. Bradley – Hole C. The Minimalist Garden / C. Bradley – Hole. London: Mitchell Beazley, 1999. 208 s.
5. Determinator of plants of the south of the Krasnoyarsk territory. Novosibirsk: Nauka: Siberian branch, 1979. 669 p.
6. **Bylov V.N.** Fundamentals of comparative variety assessment of ornamental plants. Introduction and selection of flower and ornamental plants: collection of articles. Moscow, 1978. P. 7-32.
7. Introduction and selection of flower – decorative plants. Responsible editor V.N. Tsitsin; The Main Botanical Garden of the AS USSR: Nauka, 1978. 156 p.
8. **Craul P.G.** Urban soil in landscape design / P.G. Craul – New York: Macmillan, 1992. 396 p.
9. **Bullock Ed.P.** Soil in the Urban Environments/ Ed.P. Bullock, P.J. Gregory. Oxford: Blakwell Scientific publications, 1991. 174 p.
10. **Demidenko G.A.** Data base «Soil-climatic characteristics of natural zones (subzones) of the Prienisejskoj Siberia/ G.A. Demidenko, L.N. Shevtsova. Certification № 2023621735. Date of the state registration in the Register data bases. 29.05.2023.
11. **Avdeeva E.V.** Green plantations of Siberian cities and towns. Krasnoyarsk: SibTGU, 2000. 150 p.
12. **Demidenko G.A.** Creation of landscape phytocompositions using essential oil plants // Vestnik KrasGAU, 2019. № 5. P. 75-80.
13. **Demidenko G.A.** Plants species for ecological landscaping in urban territory in Central Siberia/ G.A. Demidenko, V.V. Keler, S.V. Khizhnyak. IOP Conference Series:

14. **Демиденко Г.А.** Оценка состояния древесных растений объектов озеленения города Красноярска // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2021. № 1 (62). С. 109-115.

15. **Демиденко Г.А.** Перспективность использования дальневосточных интродуцентов в ландшафтном дизайне города Красноярска / Худенко М.А., Коротков А.А., Усова Е.А // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. ХLI, № 6. С. 486-492.

16. **Федоров А.В., Кузьмина Н.В., Ардашева О.А.** Улучшение визуальной городской среды посредством декоративно-цветочного оформления // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 3 (45). С. 155-163.

17. **Федоров А.В., Кузьмина Н.М., Ардашева О.А.** История озеленения и цветочное оформление города Ижевска: Монография. Ижевск: ФГБУН Удмуртский ФИЦ УрО РАН, 2020. 132 с.

18. **Федоров А.В., Ардашева О.А., Кузьмина Н.М.** Создание устойчиво-декоративных цветочных композиций в условиях города Ижевска // Аграрная Россия. 2020. № 9. С. 36-39.

19. **Гусева М.Е., Сивертцева С.А.** Применение цветотерапии у больных с рассеянным склерозом // Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова. 2015. № 8. С. 55-59.

Об авторе

Галина Александровна Демиденко, д-р биол. наук, профессор; Author ID РИНЦ: 309613; AuthorID Scopus: 57211227415; SPIN-код: 8513-8885; demidenkoekos@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Демиденко Г.А. выполнила практические и 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 06.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.07.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.07.2024

Earth and Environmental Science/ Zhurnal iz perechnya Scopus / Vol. 315 (2020)/ P. 052076

14. **Demidenko G.A.** Assessment of the condition of woody plants of the greening objects of the city Krasnoyarsk. Vestnik Buryatsky state agricultural academy named after V.R. Filippov, 2021. № 1(62). P. 109-115.

15. **Demidenko G.A., Khudenko M.A., Korotkov A.A., Usova E.A.** Prospects for the use of Far Eastern introduced materials in landscape design of the city of Krasnoyarsk / G.A. Demidenko, M.A. Khudenko, A.A. Korotkov, E.A. Usova // Coniferous boreal zones. 2023. T. XL1. № 6. P. 486-492.

16. **Fedorov A.V., Kuzmina N.V., Ardasheva O.A.** Improvement of the visual urban environment by means of decorative and flower design. 2018. № 3 (45). P. 155-163.

17. **Fedorov A.V., Kuzmina N.M., Ardasheva O.A.** History of landscaping and flower design of the city of Izhevsk: monograph. Izhevsk: Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020. 132 p.

18. **Fedorov A.V., Ardasheva O.A., Kuzmina N.M.** Creation of sustainable decorative flower compositions in the conditions of the city of Izhevsk. 2020. № 9. P. 36-39.

19. **Guseva M.E., Sivertseva S.A.** Application of color therapy in patients with multiple sclerosis / M.E. Guseva, S.A. Sivertseva // Journal of neurology and psychiatry named after S.S. Korsakov, 2015. № 8. P. 55-59.

About the author

Galina A. Demidenko, DSc (BIO), professor; AuthorID RSCI: 309613; Author IDScopus: 57211227415; SPIN-code: 8513-8885; demidenkoekos@mail.ru

Demidenko G.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript, she has copyright on the article and is responsible for plagiarism.