

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

2' 2023

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

Moscow, Publishing house
of Russian Timiryazev State Agrarian University

УДК 502/504
ББК 20.1
П 77

ISSN 1997-6011

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

2' 2023

Учредитель и издатель:

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

Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций

**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-58566 от 14 июля 2014 г.**

Журнал включен в перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ
для публикации трудов соискателей
ученых степеней кандидата и доктора наук
**Издание включено в систему РИНЦ,
CrossRef, AGRIS (Agricultural
Research Information System),
КиберЛенинка (Open Science)**

Полнотекстовые версии доступны на сайте
<http://elibrary.ru>

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

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

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

Подписано в печать 05.06.23 г.
Формат 60 84/8, Тираж 500 экз.

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

За достоверность информации
ответственность несут авторы.

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

Главный научный редактор

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

Заместитель главного научного редактора

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

Члены редакционного совета

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Цена подписная

УДК 502/504
ББК 20.1

UDC 502/504
BBC 20.1
P 77

ISSN 1997-6011

PRIRODOOBUSTROJSTVO

Theoretical-practical journal

2' 2023

Founder and Publisher:

**Russian Timiryazev State
Agrarian University**

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

Certificate of registration

PI No FS 77-58566 dated July 14, 2014

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

Full versions are posted on the site
<http://elibrary.ru>

Editor *V.I. Markovskaya*

Computer typesetting and makeup –
A. S. Lavrova

Translation into English – *V.G. Ryabchikova*

Responsible for the issue of the journal –
N.Ya. Filatova

Address of the editorial office: 127434,
Moscow, Pryanishnikova str., 14, building 7-7A
Tel.: +7 (499) 976-36-67
Email: prirodamgup@mail.ru
Website : environment.elpub.ru

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

Signed for print 05.06.23
Format 60 84/8, Circulation 500

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

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

Chief scientific editor

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

Associate chief scientific editor

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

Editorial board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Price of subscription

UDC 502/504
BBC 20.1

Содержание

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В., Ильченко К.Ю. Водопотребление малины при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья	6
Кирейчева Л.В. Биосферно-экологическое обоснование комплексных мелиораций	15
Мустафаев Ж.С. О генетической (гносеологической) теории мелиорации сельскохозяйственных земель	23
Панкова Т.А., Кравчук А.В., Орлова С.С., Михеева О.В., Миркина Е.Н. Адаптивное нормирование орошением	28
Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Редников С.Н. Оценка влияния лесонасаждений на обоснование гидролесомелиоративных мероприятий и качество водной среды на водосборном бассейне	36
Бельштина М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность зерна сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом	43
Исаев А.С. Производственная классификация земель бассейна Саны	52
Дрововозова Т.И., Манжина С.А. Гидроэкологическая оценка коллекторно-дренажного стока с оросительных систем Ростовской области	59
Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Гrepечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. Параметры закрытой оросительной сети и конструкция узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т»	66

Гидротехническое строительство

Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Руденко А.А. Оценка технического состояния Эшкаконского гидроузла при проведении мониторинга безопасной эксплуатации	72
Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Особенности изменения профиля склона пойменных дамб и берегов водных объектов при волновом воздействии	81
Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М. Моделирование транспорта наносов и русловых переформирований в районе Сормовского водозабора в условиях половодий, межени и при работе земснарядов	86
Рубин О.Д., Антонов А.С., Баклыков И.В., Юрченко А.Н. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости грунтовой перемычки сухого дока с учетом ее перепрофилирования	92

Гидравлика и инженерная гидрология

Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е. Анализ факторов, определяющих погрешность расходов с сужающими устройствами на каналах головных насосных станций	99
Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И. Картирование опасности внезапных наводнений с использованием метода морфометрического ранжирования	106

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

Голубев Д.А., Гула К.Е., Лашина Е.В., Колобанов К.А., Иванова А.А. Оценка лесовосстановления на территории Сахалинской области	113
Тахмазов Табриз Построение универсальной модели оценки степени изменения площади лесных покрытий	120
Лебедев А.В., Кочнев Я.В. Современное состояние насаждений парковой части дворянской усадьбы Н.Н. Григорьева (Костромская область)	124
Волкова В.В., Кожевников В.И., Щегринцев Н.В. Сохранение клона дерева Закхея (<i>Ficus sycomorus</i> L.) в Ставропольском ботаническом саду	131

Contents

Land reclamation, water economy and agrophysics

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Kirill Yu.I. Raspberry water consumption during drip irrigation in the conditions of the Central Non-Chernozem region.....	6
Kireychева L.V. Biospheric and ecological substantiation of complex land reclamation	15
Mustafaev Zh.S. On the genetic (gnoseological) theory of agricultural land reclamation.....	23
Pankova T.A., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mikheeva O.V., Markina E.N. Adaptive irrigation rationing	28
Karpenko N.P., Glazunova I.V., Rednikov S.N. Assessment of the impact of planted forests on the rationale for hydroforestry measures and the quality of the aquatic environment in the catchment area.....	36
Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zagoruiko M.G., Ananyeva T.V., Popova N.P. Influence of moisture supply conditions on the yield and feed value of soybean grain in symbiotrophic and autotrophic types of nitrogen nutrition	43
Isaev A.S. Production classification of the lands of the Sana'a basin	52
Drovovozova T.I., Manzhina S.A. Hydroecological assessment of collector-drainage runoff from irrigation systems of the Rostov region	59
Solovyev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N., Zagoruiko M.G., Kuznetsov R.E. Parameters of the closed irrigation network and design of the connection unit of the sprinkler machine «Cascade 65T».....	66

Hydraulic engineering construction

Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Rudenko A.A. Assessment of the technical condition of the Ashkakon hydropower plant during the monitoring of safe operation	72
Chernikh O.N., Burlachenko A.V. Peculiarities of changing the profile of the slope of flood-plain dams and banks of water bodies under wave impact	81
Glotko A.V., Vasiljeva E.S., Belikov V.V., Borisova N.M. Modeling of sediment transport and riverbed reformations in the area of the Sormovo water intake in the conditions of high water, low water and during dredger operation	86
Rubin O.D., Antonov A.S., Baklykov I.V., Yurchenko A.N. Results of calculations of the stress-strain state and stability of the ground cofferdam of the dry dock, taking into account its re-profiling	92

Hydraulics and engineering hydrology

Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. Analysis of the factors determining the error of flow with constricting devices on channels of head pumping stations.....	99
Mostafa Ezzeldin, Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Flash flood hazard mapping using morphometric ranking method.....	106

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

Golubev D.A., Gula K.E., Lashina E.V., Kolobanov K.A., Ivanova A.A. Assessment of reforestation in the Sakhalin region.....	113
Tahmazov Tabriz Construction of a universal model for assessing the degree of change in the area of forest coverings	120
Lebedev A.V., Kochnev Ya.V. The current state of the plantations of the park part of the noble estate of N.N. Grigoriev (Kostroma region).....	124
Volkova V.V., Kozhevnikov V.I. Preservation of the clone of the <i>Zacchaeus</i> tree (<i>Ficus sycomorus</i> L.) in the Stavropol Botanical Garden.....	131

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

УДК 631.674.6 (470.0)

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-6-14

**ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ МАЛИНЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ****Дубенок Николай Николаевич** , академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор

WOSResearchID: AAC-7746-2020; ScopusAuthorID: 57200111134; РИНЦИД: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

Гемонов Александр Владимирович , канд. с.-х. наук, доцент

WOS Research ID: AAE-7030-2022; ScopusAuthor ID: 57214148770; РИНЦИД: 877247; alebedev@rgau-msha.ru

Лебедев Александр Вячеславович, канд. с.-х. наук, доцент

WOSResearchID: AAX-9891-2020; ScopusAuthorID: 57214907823; РИНЦИД: 738683.alebedev@rgau-msha.ru

Ильченко Кирилл Юрьевич, аспирант

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

Аннотация. Для получения качественного посадочного материала, высоких и устойчивых урожаев малины в нестабильных погодных условиях необходима разработка ресурсосберегающих технологий, которые в настоящее время отсутствуют для Центрального Нечерноземья европейской части России. Цель исследований – выявить особенности водопотребления малины при различных режимах капельного орошения в условиях Центрального Нечерноземья России. Исследования проводились на базе лаборатории плодородия «Мичуринский сад» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Двухфакторный полевой опыт заложен осенью 2019 г. Капельное орошение малины позволяет в значительной степени экономить поливную воду в сравнении с другими способами полива (по бороздам, дождевание и др.). Проведенные исследования показали, что в варианте опыта с поддержанием влажности почвы в диапазоне 80-100% НВ экономия поливной воды по сравнению с поливом по бороздам составила в среднем 65%, а в варианте 60-80% НВ – 78%. Кроме того, использование локального орошения способствует созданию оптимального водно-воздушного режима почвы. Наибольшим суммарным водопотреблением характеризуется вариант опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое почвы в диапазоне 80-100% НВ (в среднем 4342 м³/га), а наименьшим – 60-80% НВ (в среднем 4026 м³/га). Исследование вклада основных элементов водного баланса в водопотребление показало, что в орошаемых вариантах опыта значительную долю составляют атмосферные осадки (от 71 до 81%), а вклад оросительной нормы в суммарное водопотребление составляет от 15 до 22%.

Ключевые слова: капельное орошение, малина, водопотребление, Нечерноземная зона России

Формат цитирования: Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В., Ильченко К.Ю. Водопотребление малины при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья // Природообустройство. 2023. № 2. С. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-6-14.

© Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В., Ильченко К.Ю., 2023

Scientific article

**RASPBERRY WATER CONSUMPTION DURING DRIP IRRIGATION
IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION****Dubenok Nikolay Nikolaevich** , Academician of the Russian Academy of Sciences,
doctor of agricultural sciences, professor

A Research ID: AAS-7746-2020; Scopus Author ID: 57200111134; RSCID: 315062; ndubenok@rgau-msha.ru

Gemonov Alexander Vladimirovich , candidate of agricultural sciences, associate professor
WOS Research ID: AAE-7030-2022; Scopus Author ID: 57214148770; RSCI ID: 877247; alebedev@rgau-msha.ru

Lebedev Alexander Vyacheslavovich, candidate of agricultural sciences, associate professor
WOS Research ID: AAX-9891-2020; Scopus Author ID: 57214907823; RSCID: 738683. alebedev@rgau-msha.ru

Kirill Yurievich Ilchenko, post graduate student

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

Annotation. To obtain high-quality planting material, high and stable raspberry yields in unstable weather conditions, it is necessary to develop resource-saving technologies that are currently not available for the Central Non-Chernozem region of the European part of Russia. The purpose of the study is to identify the features of raspberry water consumption under various drip irrigation regimes in the conditions of the Central Non-Chernozem region of Russia. Field studies were carried out on the basis of the laboratory of fruit growing «Michurinskiy Sad» of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev. A two-factor field experiment was laid down in the fall of 2019. Drip irrigation of raspberries can significantly save irrigation water in comparison with other irrigation methods (furrows, sprinkling, etc.). The conducted studies showed that in the variant of the experiment with maintaining soil moisture in the range of 80-100% of the lowest moisture capacity, the saving of irrigation water compared to furrow irrigation was on average 65%, and in the variant of 60-80% of the lowest moisture capacity – 78%. In addition, the use of local irrigation contributes to the creation of an optimal water-air regime of the soil. The highest total water consumption is characterized by the variant of the experiment with maintaining moisture in the root layer of the soil in the range of 80-100% of the lowest moisture capacity (on average 4342 m³/ha), and the smallest – 60-80% of the lowest moisture capacity (on average 4026 m³/ha). The study of the contribution of the main elements of the water balance to water consumption showed that for the irrigated variants of the experiment, precipitation has a significant share (from 71 to 81%), and the contribution of the irrigation rate to the total water consumption is from 15 to 22%.

Keywords: raspberry, drip irrigation, water consumption, Non-Chernozem zone of Russia

Format of citation: Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Ilchenko K.Yu. Raspberry water consumption during drip irrigation in the conditions of the Central Non-Chernozem region // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-6-14.

Введение. В условиях Центрального Нечерноземья России не всегда возможно получение высоких урожаев плодовых и ягодных культур. В этой зоне в течение вегетационного периода возможны периоды как с недостаточным, так и с избыточным увлажнением. Поэтому к важным элементам технологии выращивания плодовых и ягодных культур относится поддержание благоприятного для растений водного режима. Необходимость полива для поддержания оптимальной влажности почвы в корнеобитаемом слое определяется в основном количеством и распределением осадков за вегетационный период и водопотреблением выращиваемой культуры. Водопотребление сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур относится к основным элементам затрат в водном балансе деятельного слоя почвы и является одним из основных факторов, определяющих параметры режима орошения.

Малина является ягодной культурой с глубокой корневой системой, поэтому она требует влаги на всех этапах: от завязывания плодов до сбора урожая – в зависимости от взаимодействия почвы, растений и климата. Эта культура отличается также значительной транспирацией

листовым аппаратом. Все это делает растения малины чувствительными к недостатку почвенной влаги [1].

Нормальное развитие растений и обильное плодоношение обеспечиваются созданием оптимального водно-воздушного режима почвы путем проведения орошения. В настоящее время к эффективным и водосберегающим способом полива сельскохозяйственных, плодовых и ягодных культур относится капельное орошение [2-5]. Поэтому проведение исследований в данном направлении имеет большое значение как для науки, так и для практики.

Малина относится к важным ягодным культурам, промышленное выращивание которой увеличивается как в России, так и во всем мире [6]. В европейской части России основные места ее выращивания – это Поволжье, Центральный и Волго-Вятский экономические районы. Для получения качественного посадочного материала, высоких и устойчивых урожаев малины в нестабильных погодных условиях необходима разработка ресурсосберегающих технологий, которые в настоящее время отсутствуют для Центрального Нечерноземья европейской части России.

Цель исследований: выявить особенности водопотребления малины при различных режимах капельного орошения в условиях Центрального Нечерноземья России.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на базе учебно-опытного хозяйства лаборатории плодородства «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. В целом природно-климатические условия на участках исследования являются характерными для Центрального Нечерноземья европейской части России. Двухфакторный полевой опыт заложен осенью 2019 г. на дерново-подзолистой, культурной, грунтово-глееватой, глубокопахотной, среднесуглинистой на моренном суглинке почве, подстилаемой на глубине 130-170 см подморенными песками. Каждый вариант опыта заложен в трехкратной повторности.

В качестве первого фактора выступали режимы (рис. 1) капельного орошения: 1) контроль (без орошения); 2) поддержание влажности в корнеобитаемом слое почвы в диапазоне 60-80% НВ (наименьшей влагоемкости почвы); 3) 70-90% НВ; 4) 80-100% НВ. В 2020 г. глубина увлажнения почвы составляла 30 см, в 2021 г. – 40 см, в 2022 г. – 50 см.

Вторым фактором являлись сорта малины «Солнышко» и «Награда», оба из которых рекомендованы для возделывания в Центральном

Нечерноземье. Сорт «Солнышко» выведен 1970-е гг. на Кокинском опорном пункте Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства в Брянской области, в 1992 г. включен в Госреестр селекционных достижений России. Сорт «Награда» выведен в Ботаническом саду Нижегородского государственного аграрного университета (Нижегородская область) и в 1973 г. включен в Государственный реестр.

Посадка саженцев малины произведена с расстоянием между рядами 1,0 м, а расстояние между растениями в ряду составило 0,6 м. В каждой повторности было высажено по 39 растений. Площадь опытного участка составила 624 м². Таким образом, общее количество растений составило 936 саженцев. Вдоль рядов малины были установлены капельные трубопроводы. Расстояние между капельницами составляло 60 см, средние расходы капельниц – 1,2 л/ч. В 2020 г. глубина промачиваемого слоя почвы составляла 30 см, в 2021 г. – 40 см, в 2022 г. она была увеличена до 50 см.

Суммарное водопотребление определялось исходя из уравнения водного баланса. В условиях Центрального Нечерноземья европейской части России водопотребление малины в течение вегетационных периодов 2020-2022 гг. обеспечивалось за счет атмосферных осадков, оросительной нормы, подпитывания грунтовыми водами и запасов почвенной влаги в корнеобитаемом

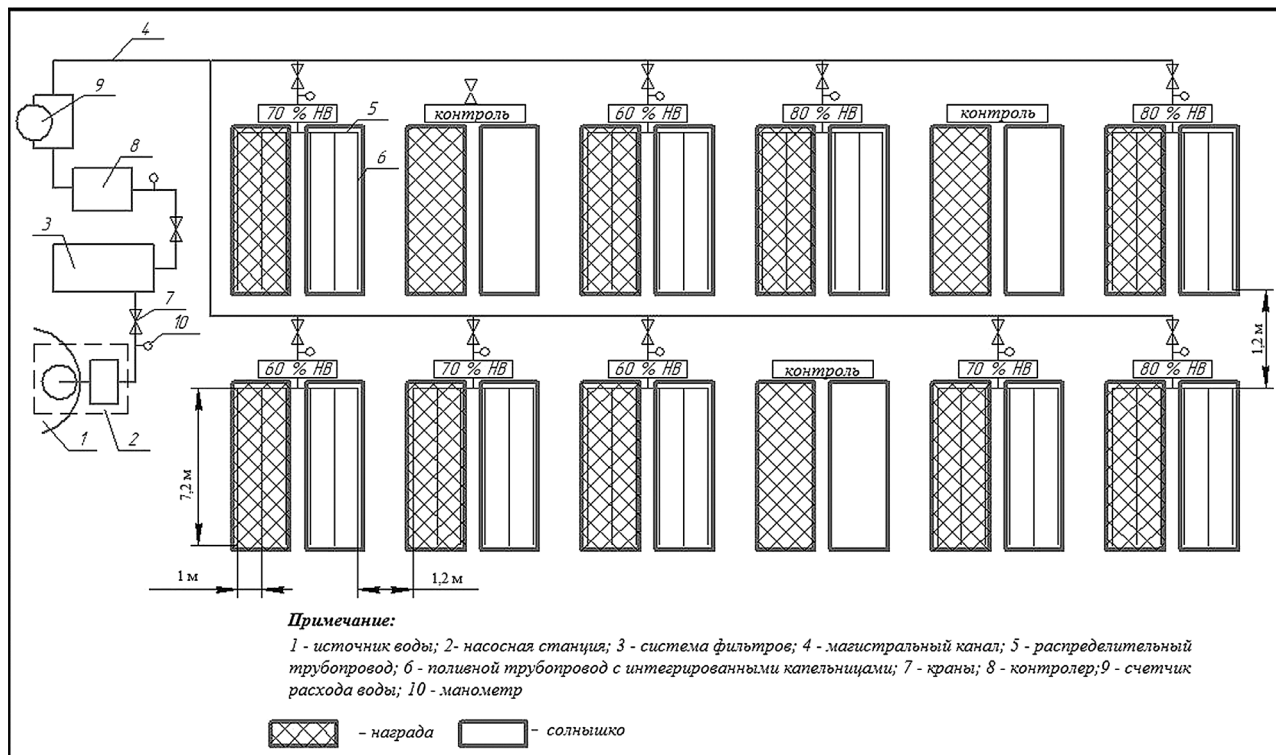


Рис. 1. Схема полевого опыта

Fig. 1. Scheme of the field experiment

слое [7, 8]. Количество выпавших атмосферных осадков по месяцам вегетационных периодов за 2020-2022 гг. принималось по результатам наблюдений на Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева), которая располагается в непосредственной близости от опытного участка. Оросительные нормы принимали по полученным опытными данным режимов капельного орошения. Влажность почвы по вариантам опыта определялась термостатно-весовым методом. Почвенные образцы для определения влажности отбирались один раз в три дня или чаще, в случае выпадения осадков или проведения поливов. Приход влаги от грунтовых вод определялся расчетным путем по методике Ю.Н. Никольского [7]. Расход почвенной влаги определялся по данным об объемной влажности почвы и влагозапасах.

Результаты и их обсуждение. Характеристика режимов капельного орошения малины приведена в таблице 1. Величина оросительной и поливной нормы, число поливов и межполивной период зависят от вариантов опыта и обеспеченности осадками в годы исследований. В засушливые и жаркие вегетационные периоды оросительная и поливная нормы, количество поливов увеличиваются, а межполивной период сокращается. В среднем для варианта

опыта с поддержанием влажности почвы в диапазоне 60-80% НВ оросительная норма составила 535 м³/га (межполивной период – 9 дней), для варианта 70-90% НВ – 655 м³/га (межполивной период – 7 дней), для 80-100% НВ – 835 м³/га (межполивной период – 6 дней). С увеличением величины поддерживаемой влажности в корнеобитаемом слое наблюдается увеличение оросительной и поливной нормы, числа проводимых поливов, сокращается межполивной период.

Капельное орошение малины позволяет в значительной степени экономить поливную воду. Например, согласно ранее проводимым исследованиям при поливе малины по бороздам оросительная норма составляет 2400 м³/га [9]. В варианте капельного орошения с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое в диапазоне 80-100% НВ экономия поливной воды по сравнению с поливом по бороздам составила в среднем 65%, а в варианте 60-80% НВ – 78%. При этом с применением локального орошения создается оптимальный водно-воздушный режим почвы.

Проведенный дисперсионный анализ на 5%-ном уровне значимости не выявил влияния сортовых особенностей малины на водопотребление. Суммарное и среднесуточное водопотребление малины по вариантам опыта показано в таблице 2. Наибольшими значениями

Таблица 1. Характеристика режимов орошения малины

Table 1. Characteristics of raspberry irrigation regimes

Показатель Index	Вариант опыта / Variant of the experiment											
	60-80% НВ				70-90% НВ				80-100% НВ			
	Год исследования / Year of the study											
	2020	2021	2022	Среднее Average	2020	2021	2022	Среднее Average	2020	2021	2022	Среднее Average
Оросительная норма, м³/га Irrigation rate, m³ / ha	598	497	510	535	697	643	624	655	816	819	870	835
Средняя поливная норма, м³/га Average watering rate, m³ / ha	35,2	41,4	42,5	40,0	36,7	42,9	44,6	41,0	37,1	43,1	44,5	42,0
Число поливов Number of water applications	17	12	12	14	19	15	14	16	22	19	20	20
Межполивной период, дни Inter-watering period, days	7	10	10	9	6	7	8	7	5	6	7	6

Таблица 2. Суммарное и среднесуточное водопотребление малины

Table 2. Total and average daily water consumption of raspberries

Вариант опыта Variant of the experiment	Суммарное водопотребление, м³/га Total water consumption, m³ / ha				Среднесуточное водопотребление, м³/га Average daily water consumption, m³ / ha			
	Год исследования / Year of the study							
	2020	2021	2022	Среднее / Average	2020	2021	2022	Среднее / Average
Контроль / Control	4046	2942	3600	3529	27	20	24	24
60-80% НВ	4611	3388	4080	4026	31	23	27	27
70-90% НВ	4737	3578	4233	4183	32	24	28	28
80-100% НВ	4851	3712	4462	4342	32	25	30	29

суммарного водопотребления характеризуется вариант опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое почвы в диапазоне 80-100% НВ. По результатам 2020 г. суммарное водопотребление здесь составило 4851 м³/га, в 2021 г. – 3578 м³/га, в 2022 г. – 4233 м³/га. Наименьшее суммарное водопотребление наблюдалось в контрольном варианте опыта, где орошение не проводилось (в 2020 г. – 4046 м³/га, в 2021 г. – 2942 м³/га, в 2022 г. – 3600 м³/га).

Среднесуточное водопотребление в среднем по вариантам опыта составило: контроль – 24 м³/га; 60-80% НВ – 27 м³/га; 70-90% НВ – 28 м³/га; 80-100% НВ – 29 м³/га. Таким образом, наибольшим среднесуточным водопотреблением характеризуется вариант опыта с поддерживаемой влажностью 80-100% НВ.

По данным трехлетнего полевого опыта была изучена структура водопотребления малины (рис. 2). Для орошаемых вариантов опыта (60-80, 70-90 и 80-100% НВ) основную долю в суммарном водопотреблении составляют атмосферные осадки (от 71 до 81%). Доля атмосферных осадков увеличивается в более влажные годы (2020 и 2022), а в засушливые годы, наоборот, снижается (2021).

С увеличением поддерживаемой влажности в корнеобитаемом слое почвы наблюдается снижение доли атмосферных осадков в суммарное водопотребление. Вклад оросительной нормы в суммарное водопотребление составляет от 15 до 22%. С увеличением величины поддерживаемой влажности корнеобитаемого слоя почвы повышается вклад оросительной нормы в водопотребление. Наибольшая ее доля наблюдается

в варианте опыта с поддержанием влажности в диапазоне 80-100% НВ. На контрольном варианте опыта, где орошение не проводилось, основная часть водопотребления приходится на приход влаги от осадков (89-92%). Незначительная доля, около 10%, приходится на подпитывание грунтовыми водами и использование почвенной влаги. Рассчитанные подекадные значения суммарного водопотребления по вариантам опыта (контроль, 60-80% НВ, 70-90% НВ, 80-100% НВ) и годам исследования (2020-2022) были аппроксимированы сигмовидной интегральной кривой (табл. 3), что позволило получить усредненные кривые. Полученные нелинейные регрессионные уравнения позволяют достаточно точно описывать зависимость подекадного суммарного водопотребления от порядкового номера декады, на что указывают высокие значения коэффициентов детерминации (R^2).

Усредненные кривые показаны на рисунке 3. Наиболее интенсивное водопотребление малины наблюдается с середины июня по начало августа, когда напряженность в погодных условиях является наибольшей. В этот период возможны жаркие периоды без осадков. Кроме того, экспериментальные данные показали, что после каждого полива наблюдается резкое повышение водопотребления. Данное явление связано с повышенной обводненностью и слабой водоудерживающей способностью тканей листьев малины.

Водопотребление малины, как и других сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур [10-14], тесно связано с погодными условиями (температура воздуха, относительная влажность воздуха, дефицит влажности воздуха и др.).

На рисунке 4 показаны зависимости декадного водопотребления от суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декаду. Полученные регрессионные зависимости достоверно описывают экспериментальные данные, по рассчитанным коэффициентам детерминации (R^2) уравнения объясняют около 95% изменчивости водопотребления. Согласно уравнениям с ростом суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха увеличивается водопотребление. Наименьшим является водопотребление на контроле без капельного орошения, а наибольшим – в варианте опыта с поддержанием влажности почвы в корнеобитаемом слое на уровне 80-100% НВ.

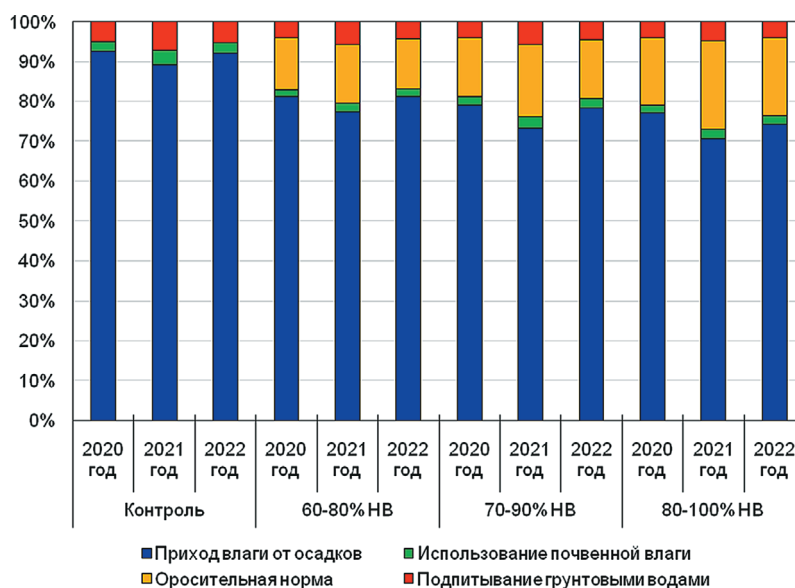


Рис. 2. Структура суммарного водопотребления

Fig. 2. Structure of total water consumption

Таблица 3. Подекадное суммарное водопотребление малины

Table 3. Decade-by-decade total water consumption of raspberry

Вариант опыта Variant of the experiment	Параметры уравнения по годам исследования $y = a_0 (1 - \exp(-a_1 t))^{a_2}$ Parameters of the equation by years of the study $y = a_0 (1 - \exp(-a_1 t))^{a_2}$			R ²
	a_0	a_1	a_2	
2020 год / 2020 year				
Контроль / Control	5393,4	0,142	2,041	0,994
60-80% НВ	6085,6	0,144	2,050	0,995
70-90% НВ	6321,9	0,141	2,001	0,995
80-100% НВ	6279,1	0,148	2,062	0,997
2021 год / 2021 year				
Контроль / Control	3426,3	0,203	2,858	0,994
60-80% НВ	3925,1	0,204	2,842	0,994
70-90% НВ	4092,9	0,209	2,917	0,995
80-100% НВ	4423,0	0,185	2,499	0,997
2022 год / 2022 year				
Контроль / Control	4600,1	0,149	1,953	0,996
60-80% НВ	5481,5	0,145	2,185	0,996
70-90% НВ	4493,8	0,295	4,821	0,996
80-100% НВ	5314,0	0,183	2,552	0,998
Итого / Total				
Контроль / Control	4449,9	0,160	2,185	0,997
60-80% НВ	5125,1	0,160	2,273	0,998
70-90% НВ	4847,4	0,206	2,875	0,998
80-100% НВ	5316,7	0,171	2,340	0,999

Примечание: y – суммарное водопотребление, мм; t – порядковый номер декады (1 – первая декада мая, 2 – вторая декада мая, ..., 15 – третья декада сентября); a – эмпирические параметры уравнения; R^2 – коэффициент детерминации.

Note: y – total water consumption, mm; t – order number of the decade (1- first decade of May, 2 – second decade of May..., 15 – third decade of September); a – empirical parameters of the equation; R^2 – coefficient of determination.

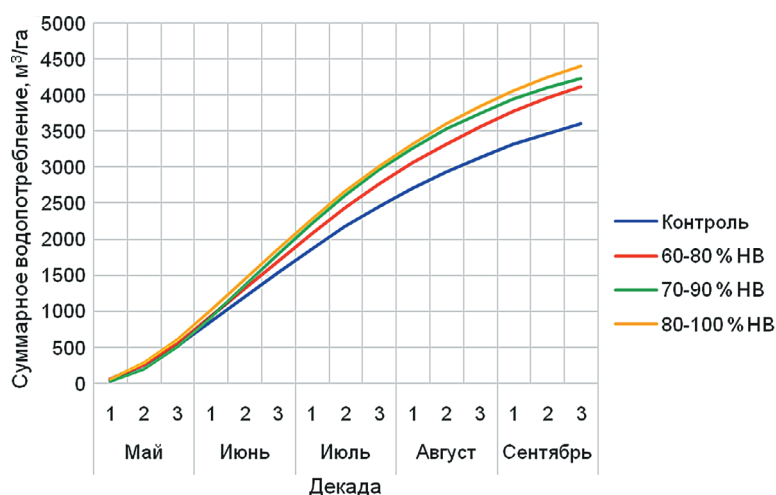


Рис. 3. Усредненные интегральные кривые водопотребления малины по вариантам опыта

Fig. 3. Averaged integral curves of raspberry water consumption according to the variants of the experiment

Для определения водопотребления широкое применение [15-19] находят биоклиматические коэффициенты. В методиках И.А. Шарова [19] и Г.К. Льгова [20] для расчета водопотребления за основу принимается сумма среднесуточных температур. Так, для формулы И.А. Шарова

эмпирический параметр (изменение водопотребления, м³/га, при увеличении температуры на 1°C), характеризующий расход воды для малины, составил: на контроле – 1,14; в варианте 60-80% НВ – 1,30; в варианте 70-90% НВ – 1,35; в варианте 80-100% НВ – 1,40. Для формулы Г.К. Льгова биофизический коэффициент (изменение водопотребления, м³/га, при увеличении температуры на 1°C) принял следующие значения: контроль – 1,42; вариант 60-80% НВ – 1,62; вариант 70-90% НВ – 1,68; вариант 80-100% НВ – 1,74.

Таким образом, наибольшими значениями биоклиматических коэффициентов характеризуется вариант опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое на уровне 60-80% НВ, при котором малина характеризуется наиболее развитыми подземными и надземными частями растений [21]. При этом необходимо отметить, что биоклиматические коэффициенты изменяются в течение

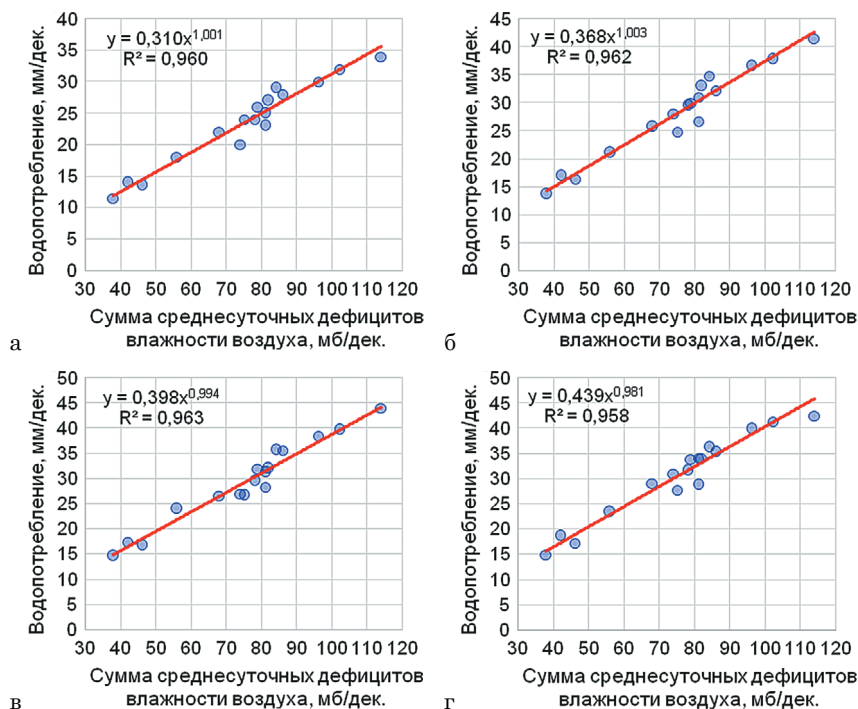


Рис. 4. Зависимость декадного водопотребления (y) малины от суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха (x): а) контроль, б) 60-80% НВ, в) 70-90% НВ, г) 80-100% НВ

Fig. 4. Dependence of the ten-day water consumption (y) of raspberry on the sum of the average daily deficits of air humidity (x): а) control, б) 60-80% НВ, в) 70-90% НВ, г) 80-100% НВ

вегетационного периода, достигая своих максимальных значений в периоды увеличения водопотребления.

Полученные результаты согласуются с результатами ранее проведенных исследований для других почвенно-климатических условий. Например, в результате исследований R. Kireeva и M. Mihov [22] для малины, выращиваемой при капельном орошении в Болгарии, получено, что наиболее интенсивное увеличение водопотребления наблюдается в фазу интенсивного роста растений (со второй декады июня), а максимальные значения среднесуточных значений водопотребления совпадают с периодом наибольшего напряжения метеорологических факторов. В результате исследований В.И. Торбовского [9] в условиях юга России сделаны выводы о том, что использование капельного орошения на примере малины обеспечивает поступление воды к каждому отдельному растению, а за счет локального увлажнения снижаются потери на испарение с поверхности почвы по сравнению с поливом по бороздам.

Таким образом, капельное орошение способствует снижению водопотребления относительно других способов полива за счет точного учета погодных условий и корректировки сроков полива.

Рассчитанные по результатам проведенных исследований биофизические коэффициенты необходимы для нужд мелиоративной практики, так как они отражают специфику водопотребления в зависимости от биологических потребностей малины, условий роста, проявления метеорологических факторов. Заданные значения биофизических коэффициентов представляют собой объективную основу для определения расчетного режима орошения и прогнозирования сроков полива плодовых и ягодных культур.

Выводы

Капельное орошение малины позволяет в значительной степени в сравнении с другими способами полива экономить поливную воду (по бороздам, дождевание

и др.). Проведенные исследования показали, что в варианте опыта с поддержанием влажности почвы в диапазоне 80-100% НВ экономия поливной воды по сравнению с поливом по бороздам составила в среднем 65%, а в варианте 60-80% НВ – 78%.

Кроме того, использование локального орошения способствует созданию оптимального водно-воздушного режима почвы. Для выращивания малины на дерново-подзолистых почвах в условиях Нечерноземной зоны России рекомендуются режимы орошения с поддержанием влажности в диапазоне 70-90 или 80-100% НВ. Наибольшим суммарным водопотреблением характеризуется вариант опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое почвы в диапазоне 80-100% НВ (в среднем 4342 м³/га), а наименьшим – 60-80% НВ (в среднем 4026 м³/га).

Интенсивное водопотребление малины происходит с середины июня по начало августа, когда наблюдается наибольшая напряженность в погодных условиях, а также после поливов. Исследование вклада основных элементов водного баланса в водопотребление показало, что в орошаемых вариантах опыта значительную долю составляют атмосферные осадки (от 71 до 81%), а вклад оросительной нормы в суммарное водопотребление составляет от 15 до 22%.

Список использованных источников

1. Волчек А.А., Рой Ю.Ф., Санелина Е.А. Эффективность капельного орошения малины ремонтантной в условиях Юго-Западной части Беларуси // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. № 41. С. 118-121.
2. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V. Moisture consumption by plum seedlings under drip irrigation in the Central Nonchernozem zone of Russia // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2020. Vol. 15. No 2. P. 191-199. – DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-2-191-199.
3. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Особенности формирования корневой системы саженцев сливы в питомнике при капельном орошении // Овощи России. 2020. № 2. С. 74-77. – DOI 10.18619/2072-9146-2020-2-74-77.
4. Худайев И., Ж. Фазлиев Ж., Шаропов Н. Капельное орошения – как водосберегающий способ орошения садов и виноградников // Школа Науки. 2019. № 4(15). С. 17-18.
5. Овчинников А.С. Режим орошения хлопчатника при дождевании и капельном орошении в Нижнем Поволжье / А.С. Овчинников, Е.А. Ходяков, С.Г. Милованов, К.В. Бондаренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3(55). С. 15-24. – DOI 10.32786/2071-9485-2019-03-1.
6. Рузавина Ю.В. Хозяйственно-биологическая оценка интродуцированных сортов малины в условиях лесостепи Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 77-79.
7. Мелиорация земель: учебник для вузов / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров [и др.]. СПб.: Изд-во «Лань», 2015. 816 с.
8. Вдовин Н.И. Расчет дефицита увлажнения почвы при капельном орошении // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 12. С. 142-148.
9. Торбовский В.И. Режим и техника капельного орошения малины: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 – «Мелиорация и орошаемое земледелие» // Василий Иванович Торбовский. Новочеркасск, 1992. 24 с.
10. Шуравилин А.В., Кучер Д.Е., Сурикова Н.В. Водопотребление яблоневых садов на дерновоподзолистых почвах Подмосковья при капельном орошении // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 4. С. 17-21.
11. Дубенок Н.Н. Влияние режимов капельного орошения на водопотребление саженцев сливы в питомнике на дерново-подзолистых почвах / Н.Н. Дубенок, К.В. Шумакова, А.В. Гемонов, и др. // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 19-26. – DOI 10.32962/0235-2524-2021-1-19-26.
12. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Особенности водопотребления саженцев сливы, выращиваемых в питомнике при капельном орошении // Плодородие. 2020. № 4(115). С. 53-56. – DOI 10.25680/S19948603.2020.115.15.
13. Лихацевич А.П., Латущкина Г.В., Набздор С.В. Зависимость водопотребления сельскохозяйственных культур от урожайности / А.П. Лихацевич, // Мелиорация. 2018. № 3(85). С. 17-23.
14. Сенчуков Г.А., Новикова И.В. Суммарное водопотребление и урожайность сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4(20). С. 108-119.
15. Акутнева Е.В. Коэффициент водопотребления плодовых культур в зависимости от режима орошения

References

1. Volchek A.A., Roy Yu.F., Sanelina E.A. Efficiency of drip irrigation of raspberries remontant in the conditions of the South-Western part of Belarus. 2015. № 41. P. 118-121.
2. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V. Moisture consumption by plum seedlings under drip irrigation in the Central Nonchernozem zone of Russia // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2020. Vol. 15. No 2. P. 191-199. – DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-2-191-199.
3. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V. Features of formation of the root system of plum seedlings in the nursery garden under drip irrigation // Vegetables of Russia. 2020. № 2. P. 74-77. – DOI 10.18619/2072-9146-2020-2-74-77.
4. Khudayev I., Fazliev Zh., Sharopov N. Drip irrigation – as a water-saving method of irrigation of gardens and vineyards. School of Science. 2019. № 4(15). P. 17-18.
5. Ovchinnikov A.S. Irrigation mode of cotton under spray and drip irrigation in the Lower Volga region / A.S. Ovchinnikov, E.A. Khodyakov, S.G. Milovanov, K.V. Bondarenko // Izvestiya Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: Science and higher vocational education. 2019. № 3(55). P. 15-24. – DOI 10.32786/2071-9485-2019-03-1.
6. Ruzavina Yu.V. Economic and biological assessment of introduced raspberry varieties in the conditions of the forest-steppe of the Volga region // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. V. 29. № 10. P. 77-79.
7. Land reclamation: textbook for universities / A.I. Golovanov, I.P. Aidarov, M.S. Grigorov [and others]. St. Petersburg: «Lan» Publishing House, 2015. 816 p.
8. Vdovin N.I. Calculation of soil moisture deficiency during drip irrigation // Bulletin of agricultural science. 1979. № 12. P. 142-148.
9. Torbovsky V.I. Mode and technique of drip irrigation of raspberry: author's abstract. diss. ... Cand. of agricultural sciences: 06.01.02 – «Land reclamation and irrigated agriculture» // Vasily Ivanovich Torbovsky. Novocherkassk, 1992. 24 p.
10. Shuravilin A.V., Kucher D.E., Surikova N.V. Water consumption of an apple orchard on sod-podzolic soils of the Moscow region with drip irrigation // Land reclamation and water management. 2016. № 4. P. 17-21.
11. Dubenok N.N. The influence of drip irrigation modes on water consumption of plum seedling in the nursery garden on sod-podzolic soils / N.N. Dubenok, K.B. Shumakova, A.V. Gemonov, et al. // Land reclamation and water management. 2021. № 3. P. 19-26. – DOI 10.32962/0235-2524-2021-1-19-26.
12. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V. Features of water consumption of plum seedlings grown in a nursery with drip irrigation // Fertility. 2020. № 4(115). P. 53-56. – DOI 10.25680/S19948603.2020.115.15.
13. Likhatsevich A.P., Latushkina G.V., Nabzdorov S.V. Dependence of water consumption of agricultural crops on yield / A.P. Likhatsevich, // Melioration. 2018. № 3(85). P. 17-23.
14. Senchukov G.A., Novikova I.V. Total water consumption and yield of agricultural crops // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2015. № 4(20). P. 108-119.
15. Akutneva E.V. Coefficient of water consumption of fruit crops depending on the irrigation regime // Proceedings of the Nizhnevolzhskiy Agro-University Complex:

// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2008. № 3(11). С. 19-23.

16. Мелихов В.В., Новиков А.А. Коэффициент водопотребления как критерий эффективного промышленного производства раннего картофеля // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 4. С. 38-40.

17. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037.

18. Пчелкин В.В. Водопотребление овощных культур в Нечерноземной зоне России / В.В. Пчелкин, С.О. Владимиров, Д.И. Зяблицев, А. Таваб // Природообустройство. 2022. № 4. С. 22-30. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-22-30.

19. Алпатыев А.М. Биофизические основы водопотребления орошаемых культур / А.М. Алпатыев // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР: Респ. межвед. темат. науч. сб. / УкрНИИГиМ. Киев, 1965. Вып. 2. С. 15-17.

20. Данильченко Н.В. Методические особенности расчета оросительных норм с.-х. культур в НЧЗ РСФСР // Техника и технология механизированного орошения. 1982. С. 177-186.

21. Дубенок Н.Н., Ильченко К.Ю., Гемонов А.В. Формирование саженцев малины при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны // Плодородие. 2022. № 4(127). С. 67-71. – DOI 10.25680/S19948603.2022.127.18.

22. Kireeva R., Mihov M. Evapotranspiration and biophysical coefficients of raspberries grown in drip irrigation / R. Kireeva, M. Mihov // International Scientific Journal "Science. Business. Society". 2018. № 2. P. 78-81.

Критерии авторства

Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В., Ильченко К.Ю. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Одобрена после рецензирования 03.02.2023

Принята к публикации 08.02.2023

Science and higher vocational education. 2008. № 3(11). P. 19-23.

16. Melikhov V.V., Novikov A.A. Coefficient of water consumption as a criterion for effective industrial production of early potatoes // Land reclamation and water management. 2011. № 4. P. 38-40.

17. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V. Scientifically grounded irrigation regime of plum seedlings with drip irrigation in the conditions of sod-podzolic soils // Russian agricultural science. 2021. № 4. S. 13-16. – DOI 10.31857/S2500262721040037.

18. Pchelkin V.V. Water consumption of vegetable crops in the Non-chernozem zone of Russia / Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Zyaubitshev D.I., Tavab A. Water consumption of vegetable crops in the Non-Chernozem zone of Russia / V.V. Pchelkin, S.O. Vladimirov, D.I. Zyaubitshev, A. Tavab // Nature management. 2022. № 4. P. 22-30. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-22-30.

19. Alpatiev A.M. Biophysical foundations of water consumption of irrigated crops / A.M. Alpatiev // Irrigated agriculture in the European part of the USSR: Rep. interagency thematic scientific collection / UkrNIIGiM. Kiev, 1965. – Issue 2. – P. 15-17.

20. Danilchenko N.V. Methodical features of calculation of irrigation norms of agricultural crops in the NChZ of the RSFSR // Technique and technology of mechanized irrigation. 1982. P. 177-186.

21. Dubenok N.N., Ilchenko K.Yu., Gemonov A.V. Formation of raspberry seedlings during drip irrigation in the conditions of the Non-Chernozem zone // Fertility. 2022. № 4(127). P. 67-71. – DOI 10.25680/S19948603.2022.127.18.

22. Kireeva R., Mihov M. Evapotranspiration and biophysical coefficients of raspberries grown in drip irrigation / R. Kireeva, M. Mihov // International Scientific Journal "Science. Business. Society". 2018. № 2. P. 78-81.

Criteria of authorship:

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Ilchenko K.Yu. conducted practical and theoretical research, based on which they summarized the results. They have the copyright for the article and are responsible for the plagiarism.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial board 25.01.2023

Approved after peer review 03.02.2023

Accepted for publication 08.02.2023

Оригинальная статья

УДК 631.6:631.92

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-15-22



БИОСФЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Кирейчева Людмила Владимировна, д-р техн. наук, профессор,
руководитель научного направления
ORCID0000-0002-7114-2706; kireychtvalw@mail.ru

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

Аннотация. Рассмотрено современное состояние мелиорации в стране, которое показало недостаточно эффективное использование мелиорированных земель по причине значительного износа основных фондов, использования устаревших технологий и несоблюдения эксплуатационных мелиоративных режимов, что требует пересмотра парадигмы осуществления мелиоративной деятельности. Цель исследований – разработка основных положений концепции биосферно-экологического обоснования комплексной мелиорации, позволяющих существенно повысить продуктивность мелиорируемых земель и снизить нагрузки на агроландшафт. Применение закономерностей энерго- и массообмена в природных ландшафтах позволяет более эффективно использовать естественный потенциал природной среды, а учет ассимилирующих и барьерных свойств – снизить мелиоративные нагрузки. Важнейшим направлением должна стать цифровизация мелиоративной отрасли, а автоматизация процессов управления мелиоративным режимом почвы и создание информационно-коммуникационных систем для принятия решений по проведению агрохимических и мелиоративных мероприятий в режиме реального времени позволят получать высокие урожаи качественной продукции.

Ключевые слова: мелиорация, биосферные и экологические функции, продуктивность, мелиоративная нагрузка, автоматизация, информационно-коммуникационные системы

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

© Кирейчева Л.В., 2023

Original article

BIOSPHERIC AND ECOLOGICAL SUBSTANTIATION OF COMPLEX LAND RECLAMATION

Kireycheva Lyudmila Vladimirovna, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the scientific direction

ORCID0000-0002-7114-2706; kireychtvalw@mail.ru

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov; 44, B. Akademicheskaya str., cor.2, Moscow, 127434, Russia

Annotation. The current state of land reclamation in the country is considered, which showed not sufficiently effective use of reclaimed land due to significant depreciation of fixed assets, the use of obsolete technologies and non-compliance with operational reclamation regimes, which requires a revision of the paradigm of reclamation activities. The purpose of the research is to develop the main provisions of the concept of biosphere and ecological substantiation of integrated land reclamation, which can significantly increase the productivity of reclaimed lands and reduce the load on the agrolandscape. The use of the regularities of energy and mass transfer in natural landscapes makes it possible to more effectively use the natural potential of the natural environment, and taking into account the assimilating and barrier properties to reduce reclamation loads. The most important direction should be the digitalization of the reclamation industry, and the automation of soil reclamation management processes and the creation of information and communication systems for decision-making on agrochemical and reclamation measures in real time will allow obtaining high yields of quality products.

Keywords: land reclamation, biosphere and ecological functions, productivity, reclamation load, automation, information and communication systems

Format of citation: Kireycheva L.V. Biospheric and ecological substantiation of complex land reclamation // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 15-22. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-15-22.

Введение. В современном мире сформировались вызовы, затрагивающие сельское хозяйство, включая мелиорацию и экологию, к которым можно отнести: нарастающее проявление деградационных процессов в агроэкосистемах; истощение водных ресурсов и ухудшение почвенных условий; региональное и локальное изменение климата. Все это сдерживает развитие сельского хозяйства и обеспечение населения качественной продукцией. Важнейшим фактором снижения негативных проявлений является сельскохозяйственная мелиорация, позволяющая не только предупредить деградацию земель и повысить их продуктивность, снизить климатические риски, но и создать комфортную для человека среду обитания. Однако в нашей стране роль мелиорации является несущественной ввиду недостаточно эффективного использования ранее мелиорированных земель. В настоящее время на балансе Минсельхоза находится 9,45 млн га мелиорированных земель, или 4,78% общей площади сельхозугодий, из которых 4,67 млн га – орошаемые, 4,78 млн га – осушаемые. Орошаемые земли с хорошей продуктивностью составляют 2,41 млн га, с пониженной продуктивностью – 1,38, с неудовлетворительной продуктивностью – 0,9 млн га. На осушаемых землях с хорошей продуктивностью числится 0,86 млн га, пониженной – 2,14, неудовлетворительной продуктивностью – 1,78 млн га (рис. 1) [1].

Пониженная продуктивность связана с неудовлетворительным состоянием земель ввиду

как износа основных мелиоративных фондов, что составляет 71%, так и использования устаревших технологий и несоблюдения эксплуатационных мелиоративных режимов. Из 3860 тыс. га используемых в агропроизводстве орошаемых земель в 2021 г. поливалось всего лишь 1238,69 тыс. га, или 32%, а на осушаемых землях проектное регулирование водного режима и отвод дренажных вод осуществляются только на площади 916,86 тыс. га, или на 29,01% общей площади.

Урожайность на мелиорированных землях в современных условиях не достигает проектного значения, а производство растениеводческой продукции значительно ниже, чем в 80-е гг., когда объем сельскохозяйственной продукции с мелиорированных земель составлял более 30% от общего объема валового производства [2]. Все это требует пересмотра научной парадигмы обоснования комплексной мелиорации с позиции более эффективного использования природного капитала, биосферных функций и экосистемных услуг мелиоративной деятельности.

Для существенного повышения эффективности комплексной мелиорации необходимы разработка новых принципов обоснования и размещения мелиоративных систем, создание современных гидромелиоративных систем, позволяющих обеспечить на базе цифровых технологий точность регулирования потоков энергии, воды и минеральных веществ в агроэкосистеме. Это позволит существенно повысить урожайность и снизить нагрузку на природную систему.

Цель исследований заключалась в разработке концепции биосферно-экологического обоснования комплексной мелиорации, основанной на повышении энергетического потенциала агроэкосистемы и снижении мелиоративной нагрузки на агроландшафт.

Материалы и методы исследований. Главная функция биосферы заключается в обеспечении циркуляции информации, энергии, воды и вещества между атмосферой, гидросферой, литосферой (почвой) и непрерывном обмене с живыми организмами включая человека. Применительно к мелиоративной деятельности

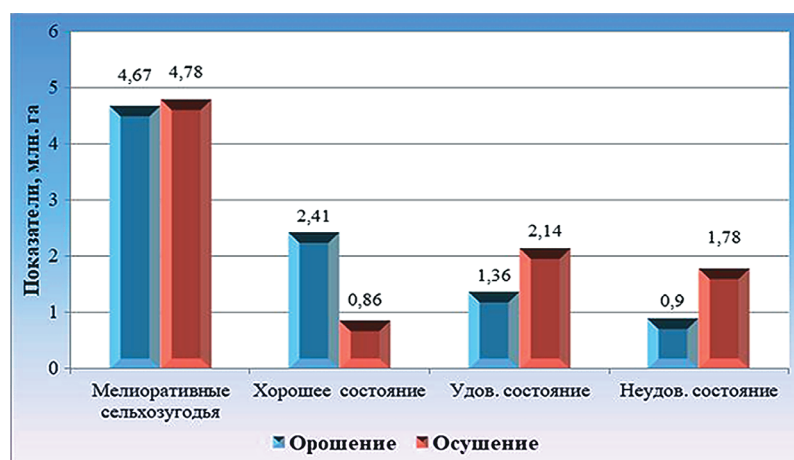


Рис. 1. Оценка мелиоративного состояния орошаемых и осушаемых земель

Fig. 1. Assessment of the reclamation state of irrigated and drained lands

рассмотрим некоторые биосферные и экосистемные функции.

Экосистемные функции – это природные процессы в экосистемах, благодаря которым удовлетворяются потребности человека по использованию природного капитала, представляющего собой часть окружающей природной среды, потенциально возможной для использования человеком с целью удовлетворения его потребностей. В свою очередь, природный капитал можно подразделить на два части: экологический, или ассимиляционный, и ресурсный потенциал [3].

Мелиоративная деятельность выполняет экосистемные функции в виде формирования и поддержания параметров окружающей среды, способствует получению дополнительного, потенциально возможного объема продукции растениеводства, для удовлетворения потребности общества и обеспечивает нематериальные функции в части улучшения среды обитания и повышения экономической устойчивости сельскохозяйственного производства. Целесообразно выделить следующие экологические услуги, которые реализует мелиоративная деятельность:

- сглаживание климатических аномалий за счет повышения водообеспеченности территории перераспределением водных ресурсов;

- повышение эффективности использования лучистой энергии путем прямого или опосредованного воздействия на альбедо, транспирацию, трансформацию теплового режима приземного слоя атмосферы;

- обеспечение биогеохимического и энергетического обмена почвы с атмосферой, гидросферой и литосферой, не нарушающего природную цикличность и снижающего поступление воды и веществ в геологический круговорот;

- использование демпфирующих свойств и ассимиляционной емкости компонентов природной среды для снижения мелиоративной нагрузки при создании и функционировании мелиоративных систем;

- усиление действия природных барьерных свойств или создание искусственных барьеров в природном объекте, что обеспечит снижение уровня загрязнения почв, природных вод, биоты и аграрной продукции;

- восстановление (рекультивация) нарушенных территорий, предотвращение и ликвидация эрозионных и других деградационных процессов;

- повышение биопродуктивной функции почв за счет придания природному

объекту благоприятных свойств для роста и развития культурных растений;

- обеспечение эффективного функционирования биоты в экосистемах, адаптивной к зональному климату и аграрному производству, для улучшения санитарно-гигиенической и эпидемической обстановки и воспроизводства почвенного плодородия;

- поддержание рекреационных качеств ландшафтов, их экологической устойчивости, продуктивности биоресурсов и способности к самовосстановлению;

- регулирование углеродного баланса за счет биогеохимического и энергетического обмена между почвой и атмосферой.

Результаты и их обсуждение. Предложены концептуальные положения и структура обоснования комплексной мелиорации, которая базируется на более полном учете свойств природной среды, точном регулировании природно-мелиоративных процессов, использовании природоподобных технологий управления мелиоративными режимами и производственными циклами. Она включает в себя иерархическую последовательность задач, подлежащих решению при обосновании и реализации комплексной мелиорации (рис. 2).

Необходимость развития мелиорации в стране и ее масштабность определяются на государственном уровне путем установления дополнительного объема растениеводческой продукции, необходимой для реализации Доктрины продовольственной безопасности, утв. Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20, и экспортного потенциала АПК. Комплексная мелиорация способствует не только



Рис. 2. Структурная схема и последовательность выполнения обоснования и реализации комплексной мелиорации

Fig. 2. Structural scheme and sequence of substantiation and implementation of complex land reclamation

увеличению объема растениеводческой продукции, но и стабилизации ее производства в неблагоприятные по климатическим условиям годы. В зависимости от прогнозируемого дефицита продовольствия и планируемого объема экспорта по виду продукции, плановому валовому сбору, предельной межгодовой вариации и пр. устанавливается необходимая доля (процент) мелиорируемой площади к общей площади сельскохозяйственных угодий и пашни с учетом рисков и угроз, которые могут снизить объем производства растениеводческой продукции.

В настоящее время доля мелиорируемых земель составляет 7,8% от пашни, а эффективно используемые мелиоративные земли составляют всего около 2%. По экспертным оценкам, для устойчивого агропроизводства в стране должно эффективно функционировать не менее 10 млн га мелиорированных земель, или 8% от используемой пашни, что снизит вариацию урожайности до 30% и ниже.

Установление потребности в проведении мелиорации обосновывается оценкой гидротермического режима территории, наличием и состоянием земельных ресурсов, гидрологическими и гидрогеологическими условиями, почвенными характеристиками. Естественные гидротермические условия определяют необходимость дополнительного увлажнения или осушения почв. По данным метеорологических показателей, в системе ГИС определяются территории, на которых требуется улучшение водного режима путем проведения гидромелиораций с целью повышения природно-климатического потенциала. Для этого по метеоданным вычисляются индексы, отражающие среднесуточную тепло- и влагообеспеченность (ГТК по Г.Т. Селянину, K_y по Н.Н. Иванову и т.д.) с целью установления профицита или дефицита естественного увлажнения почв (осушение, орошение двойное регулирование влажности почвы) и установления объема необходимой водной мелиорации (норма осушения, оросительная норма).

Используя электронные карты естественного увлажнения территории, продолжительности вегетационного периода и дефицита увлажнения в вегетационный период, построенные по данным метеостанций, выделяются потенциальные области развития комплексных мелиораций в природно-географических зонах для возможного повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий с целью интенсификации аграрного производства.

На основе закономерностей энерго- и массообмена в природных ландшафтах определяется

биологическая продуктивность предполагаемой области развития мелиорации по формулам [4]:

$$V = 10 \cdot K_t K_{\text{ФАР}} (e^{\pi \cdot k_0 \cdot k_y} - 1), \text{ если } k_y < 1; \quad (1)$$

$$V = 10 \cdot K_t K_{\text{ФАР}} (e^{\pi \cdot k_0 \cdot (1/k_y)} - 1), \text{ если } k_y > 1, \quad (2)$$

где K_t – коэффициент теплообеспеченности, взвешенный коэффициентом $K_{\text{ФАР}}$; k_y – коэффициент увлажнения по Иванову, $k_y = O/ET_0$, где O – сумма осадков вегетационного периода, мм; T_0 – сумма среднесуточных положительных температур (выше 0°); $E = 0,177$. При $k_y = 1-1.2$ обеспечиваются оптимальные условия увлажнения почв: эмпирический коэффициент $K_0 = 1,0507$; 10 – перевод тонн в центнеры. Коэффициент теплообеспеченности рассчитывается как отношение суммы среднесуточных положительных (активных) температур вегетационного периода к максимальной климатической сумме температур на земле, равной 10946°.

Комплексная мелиорация направлена на создание оптимального водного режима почвы посредством трансформации водного баланса территории. В качестве интегрального показателя экологической трансформации водного баланса (Ээ-м) можно принять следующее соотношение, характеризующее водобеспеченность агроландшафта:

$$\Theta_{\text{э-м}} = B_{\text{п}} / E_0; \quad (3)$$

$$B_{\text{п}} = O_{\text{с}} + O_{\text{р}} \pm g,$$

где $O_{\text{с}}$ – атмосферные осадки; $O_{\text{р}}$ – оросительная норма; $\pm g$ – влагообмен между почвенными и грунтовыми водами; E_0 – испаряющая способность природной системы (E_0).

Это позволит обосновать необходимость как дополнительного увлажнения почвы оросительными мелиорациями, так и отвода избыточной воды из почвенного слоя за счет регулирования влагообмена осушительными мелиорациями, что обеспечит повышение продуктивности земель. Для этого обосновывается возможность использования для развития орошения имеющихся в пределах бассейна водных ресурсов с учетом климатических и экономических рисков.

В составе схемы комплексного использования водных объектов (СКИОВО) дополнительно устанавливается возможность отбора водных ресурсов на проведение гидромелиоративных работ и возможность водоотведения сбросных и дренажных вод (орошение и осушение). Для установления мелиоративного фонда (земель, перспективных для дальнейшего развития мелиорации) и повышения обеспеченности природными, материальными и трудовыми ресурсами действующих мелиорированных территорий рекомендуется разработать схему развития комплексных мелиораций в стране (СРКМ), в составе которой выделить ранее мелиорированные земли, оценить

их водообеспеченность и наметить мероприятия, а также обосновать возможность и целесообразность дальнейшего развития мелиорации.

При обосновании проведения на сельскохозяйственных землях комплексных мелиораций путем создания мелиоративных систем выполняются эколого-экономическое обоснование с учетом ограничений на природно-климатический и ресурсный потенциал регионального агропроизводства с оценкой природных и экономических рисков [5]. Схема развития комплексных мелиораций позволит на научной основе выбирать территории, наиболее пригодные для размещения новых мелиоративных систем с учетом имеющихся природных ресурсов, потенциально возможного продукционного потенциала земельных ресурсов, а также имеющегося в регионе производственного потенциала и трудовых ресурсов.

Оптимизация размещения мелиоративных систем в пределах ландшафтной зоны при биосферном обосновании комплексной мелиорации заключается в максимально возможном снижении мелиоративной нагрузки на окружающую среду за счет использования ассимиляционной емкости составляющих природного объекта, то есть их способности без ущерба для себя поглощать техногенные воздействия. В качестве примера можно привести естественную дренированность территории, определяющую способность гидрогеологической системы компенсировать величину ирригационного питания грунтовых вод на мелиорированных землях естественным их оттоком, и тем самым – снижение водной нагрузки на гидромелиоративных системах

Благоприятными условиями для размещения орошаемых земель являются интенсивно дренируемые территории с подземным оттоком более 500 мм/год и дренированные территории с оттоком 300-500 мм/год. В зависимости от оттока подземных вод можно определить допустимую величину ирригационного питания, формирующегося на мелиоративной системе (табл. 1).

Снижение техногенной нагрузки на природный объект при создании мелиоративных систем возможно и при использовании барьерных свойств природной среды или создании специальных искусственных барьеров, которые относятся к природоподобным технологиям. Природные (естественные) и искусственно созданные барьеры могут быть механическими, физическими, биологическими, геохимическими, сорбционными и пр., а также комплексными в зависимости от механических, химических или биологических загрязнений, поступающих с мелиоративных систем. В качестве простейших можно привести различные ботанические площадки, биоплато, биосорбционные сооружения и пр. Роль барьеров в мелиоративной практике заключается в необходимости эффективного и экологически безопасного управления мелиоративными процессами, связанными с потоками воды и веществ на мелиорированных землях [6]. Такой подход дает возможность «вписать» мелиоративные процессы в природные, не изменяя их направленность, что имеет существенное экологическое значение. Чтобы предотвратить развитие негативных процессов, определяется экологическая устойчивость мелиорируемого

Таблица 1. Допустимая величина ирригационного питания

Table 1. Permissible value of irrigation feeding

Зона <i>Zone</i>	Подземный отток, мм/год <i>Underground outflow, mm / year</i>	Ирригационное питание, мм/год <i>Irrigation feeding, mm / year</i>	Рекомендации по типу мелиоративных систем <i>Recommendations for the type of reclamation systems</i>
Интенсивно дренированная <i>Intensively drained</i>	>500 в галечниках <i>>500 in pebbles</i>	150-200	Мелиоративные системы с дождеванием и открытой оросительной сетью <i>Reclamation systems with sprinkling and open irrigation network</i>
Дренированная <i>Drained</i>	300-500	100-150	Мелиоративные системы с дождеванием и закрытой оросительной сетью <i>Reclamation systems with sprinkling and closed irrigation network</i>
Слабо дренированная <i>Weakly drained</i>	150-300	50-100	Системы малообъемного орошения (микро- дождевание, импульсное, мелкоструйное) <i>Low-volume irrigation systems (micro-raining, pulsed, fine-jet)</i>
Весьма слабо дренированная <i>Very weakly drained</i>	50-150	< 50	Системы капельного и внутриводного орошения, мелкодисперсное увлажнение <i>Drip and in-soil irrigation systems, finely dispersed humidification</i>

агроландшафта. При нормативных значениях экологической устойчивости выполняется расчет мелиоративной нагруженности ландшафта (K_M), характеризующий степень преобразования агроландшафта при проведении мелиоративной деятельности и представляющий собой отношение площади мелиорированных земель (как наиболее интенсивно используемых и несущих значительную техногенную нагрузку) к общей площади сельхозугодий в пределах ландшафтной зоны:

$$K_M = S_M / S_{CX},$$

где S_M – площадь мелиорированных земель; S_{CX} – общая площадь сельскохозяйственных угодий в границах системы ландшафтной зоны.

K_M зависит от географического положения, способности геосистемы противостоять природным цепным реакциям, социально-экономическим показателям региона и прочим условиям. В зависимости от природной зоны оптимальное значение коэффициента мелиоративной нагруженности составляет от 0,3 до 0,7. Важнейшим этапом рассматриваемой методологии является проведение сценарных исследований, в результате которых выбирается вариант, обеспечивающий экологически обоснованную величину продуктивности сельскохозяйственных угодий при обеспечении устойчивости агроландшафта и экономической эффективности проведения комплексных мелиораций с учетом возможных экологических рисков и ущербов [7].

Значительная роль мелиорации отводится поддержанию и повышению плодородия почвы и формированию «здоровой почвы» путем создания необходимых условий для почвенных микроорганизмов, которые являются неотъемлемым звеном в углеродном цикле и незаменимым фактором гумусообразования и почвообразования [8]. При таком подходе, по мнению А.М. Семенова [9], «...почва представляет собой

не столько биокосное тело, сколько самостоятельную экосистему, основную роль в которой играет биота», выполняющая роль преобразования органического вещества в гумус, и потребность высших растений в питательных веществах. Кроме того, микробиота осуществляет фитосанитарные функции, обеспечивая получение качественной продукции.

Таким образом, биосферная функция комплексной мелиорации заключается в создании мелиоративного режима почвы для жизнедеятельности почвенной биоты как основного фактора повышения потенциального плодородия (табл. 2).

Реализация мелиоративных мероприятий осуществляется непосредственно на мелиорированных землях с применением средств автоматизации мелиоративных процессов. Это позволяет определить величину экологических услуг мелиорации сельскохозяйственных земель для повышения их продуктивности, удовлетворяющей потребности производителя сельскохозяйственной продукции.

Для управления природно-мелиоративными процессами в агроэкосистеме предлагается создавать автоматизированные информационно-коммуникационные технологии, обеспечивающие регулирование подачи воды, минеральных удобрений, средств защиты растений и пр. с учетом агротехнологических мероприятий выращивания сельскохозяйственной культуры и при непосредственном участии сельхозпроизводителя. Примером может служить информационно-коммуникационная система АИСК, разработанная во ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова [10]. Структурная схема автоматизированной информационно-коммуникационной системы управления природно-мелиоративными процессами представлена на рисунке 3.

Автоматизированная информационно-коммуникационная система (АИКС)

Таблица 2. Требования почвенных микроорганизмов к мелиоративному режиму для обеспечения микробиологических процессов (составлено В.Ю. Павловым)

Table 2. Requirements of soil microorganisms to the reclamation regime for ensuring microbiological processes

Показатели мелиоративного режима <i>Indicators of reclamation mode</i>	Плотность почвы <i>Soil density</i>	Температура почвы, °C <i>Soil temperature, °C</i>	Влажность, % ПВ <i>Moisture, % SM</i>	pH
Диапазон изменения <i>Change range</i>	1,1...1,3	5...30	15...75	5...9
Оптимальное значение <i>Optimal value</i>	0,8...1,1	15...25	60...75	6,5...7

Примечание. Составлена В.Ю. Павловым

Note. Compiled by V. Yu. Pavlov

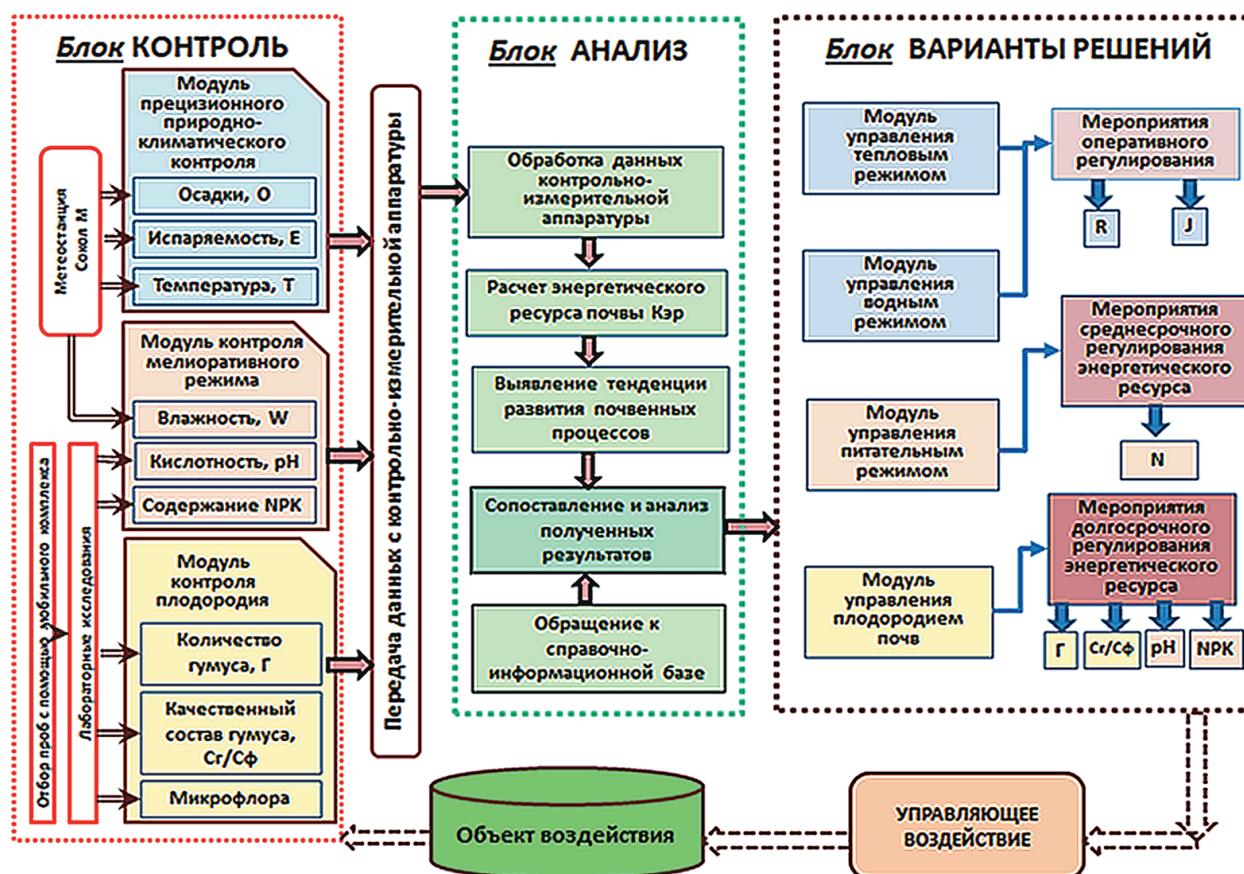


Рис. 3. Схема автоматизированной информационно-коммуникационной системы управления природно-мелиоративными процессами

Fig. 3. Scheme of automated information and communication system for managing natural-reclamation processes

используется для оценки состояния сельскохозяйственных угодий и принятия решений по назначению мероприятий в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Оценка состояния сельхозугодий основана на расчетах энергетического ресурса почв и продукционного потенциала в конкретной природно-климатической зоне.

В настоящее время разработаны модели и программное обеспечение для расчета коэффициента энергетического ресурса почвы и продукционного потенциала в зависимости от агроклиматических, почвенных условий, биологических особенностей культуры и технических возможностей инженерной мелиоративной системы [11].

Выводы

Разработана концепция биосферно-экологического обоснования комплексных мелиораций, способствующая более полному использованию природного капитала для удовлетворения потребности общества в продукции растениеводства, снижению мелиоративной нагрузки на природную среду, повышению экономической

устойчивости агропроизводства и созданию качественной среды обитания.

Концепция включает в себя:

- иерархическую последовательность обоснования необходимости и возможности осуществления комплексной мелиорации в зависимости от потребностей государства и природно-климатических условий;
- использование закономерностей энерго- и массообмена в природных ландшафтах для обоснования объемов и видов мелиорации с учетом более полного использования естественного потенциала природной среды;
- учета симилирующих и барьерных свойств природной среды при проектировании и строительстве мелиоративных систем для снижения техногенной нагрузки на агроландшафт при их функционировании;
- создание средствами комплексной мелиорации оптимальных условий для жизнедеятельности микробиоты почвы, обеспечивающей гумусообразование и, следовательно, воспроизводство почвенного плодородия;
- автоматизацию процессов управления водным, тепловым и питательным режимами

агросистемы и создание информационно-коммуникационных систем для принятия решений по проведению агрохимических

и мелиоративных мероприятий в режиме реального времени для повышения урожайности и качества продукции.

Список использованных источников

1. Развитие мелиоративного комплекса: строительство, модернизация и техническое перевооружение: справ.изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 88 с.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 404 с.
3. **Дарбалаева Д.А.** Сущность и место природного капитала в эколого-экономической системе // Вопросы экономической теории. 2014. № 4. С. 145-156.
4. **Панько В.А.** Оценка и прогнозирование агроклиматических ресурсов. –/ Новосибирск.: Изд-во ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. 2012. 100 с.
5. **Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф.** Методика эколого-экономического обоснования введения земель в сельскохозяйственный оборот или переход в другие категории. М. МЭСХ, 2020.130 с.
6. **Максисмов С.А.** Научные основы формирования биогеохимических барьеров при мелиорации и рекультивации земель. Диссертация на соиск. д-ра техн. наук... М.: 2020, 356 с.
7. **Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М.** Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России. М.: Изд. ФГБНУ «ВНИИ агрохимия» 2017. 296 с.
8. **Ганжара Н.Ф.** Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и чернозёмных почв Европейской части СССР. Специальность 06.01.03 – почвоведение. Автореферат диссертации на соискание степени доктора биологических наук. Москва. 1988. 38 с.].
9. **Семенов А.М.** Трофическое группирование и динамика развития микробных сообществ в почве и ризосфере: Дис... д-ра биол. наук в виде научн. докл. М.: МАКС Пресс, 2005. 66 с.
10. **Кирейчева Л.В., Тимошкин А.Д., Авети-сян А.Л.** Информационно-коммуникационная система регулирования параметров мелиоративного состояния агроэкосистемы // Природообустройство. 2022. № 3. С. 13-18.
11. **Кирейчева Л.В.** Научные основы и технологические приемы комплексного регулирования параметров агроэкосистемы: монография / Карпенко Н.П., Яшин В.М., и др. М., 2022. 234 с.

Критерии авторства

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

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Одобрена после рецензирования 18.02.2023

Принята к публикации 21.02.2023

References

1. Development of the reclamation complex: construction, modernization and technical re-equipment: reference. ed. M.: FSBI «Rosinformagrotech», 2021. 88 p.
2. Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2019. Moscow: FSBI «Rosinformagrotech», 2021.404 p.
3. **Darbalaeva D.A.** The essence and place of natural capital in the ecological and economic system // Questions of economic theory. 2014. № 4. P. 145-156.
4. **Panko V.A.** Assessment and forecasting of agro-climatic resources. –/Novosibirsk: Publishing house of the FGBNU «VNIIGiM» named after A.N. Kostyakov. 2012. 100 p.
5. **Kireycheva L.V., Yurchenko I.F.** Methodology of ecological and economic justification of the introduction of land into agricultural circulation or transition to other categories. M. MESKH, 2020.130 p.
6. **Maksismov S.A.** Scientific foundations of the formation of biogeochemical barriers during land reclamation and reclamation. M.: 2020, 356 p.
7. **Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M.** Scientific foundations of the creation and management of reclamation systems in Russia. M.: Publishing house FGBNU «VNI agromiya» 2017. 296 p.
8. **Ganzhara N.F.** Humus formation and agronomic assessment of organic matter of podzolic and chernozem soils of the European part of the USSR. Specialty 06.01.03 – soil science. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. Moscow. 1988. 38 p.
9. **Semenov A.M.** Trophic grouping and dynamics of development of microbial communities in soil and rhizosphere: Dis... Doctor of Biological Sciences in the form of scientific dokl. M.: MAX Press, 2005. 66 p.
10. **Kireycheva L.V., Timoshkin A.D., Avetisyan A.L.** Information and communication system for regulating parameters of the reclamation state of the agroecosystem //Environmental management. 2022. No. 3. P. 13-18.
11. **Kireycheva L.V.** Scientific foundations and technological methods of integrated regulation of agroecosystem parameters: monograph / Karpenko N.P., Yashin V.M. dr. Moscow, 2022. 234 p.

Criteria of authorship

Kireycheva L.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. She has a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 25.01.2023

Approved after reviewing 18.02.2023

Accepted for publication 21.02.2023

Оригинальная статья

УДК 631.6

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-23-27



О ГЕНЕТИЧЕСКОЙ (ГНОСЕОЛОГИЧЕСКОЙ) ТЕОРИИ МЕЛИОРАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Мустафаев Жумахан Сулейменович, д-р техн. наук, профессор

z-mustafa@rambler.ru

АО «Институт географии и водной безопасности»; г. Алматы, Медеуский р-н, ул. Пушкина, 99, Казахстан

Аннотация. Цель исследований – развитие учения о мелиорации сельскохозяйственных земель на основе общих законов природы, изучения природных процессов и генезиса природообустройства. На основе изучения закономерности формирования генетической теории стока А.И. Воейкова, принадлежащей зависимости речного стока, атмосферных осадков и суммарного испарения, сделана попытка установить причинную связь коэффициента естественного увлажнения Н.Н. Иванова, «индекса сухости» или гидротермического показателя М.И. Будыко и затрат энергии на почвообразование В.Р. Волобуева для формирования генетической (гносеологической) теории мелиорации сельскохозяйственных земель. С использованием философских идей и мировоззренческих взглядов в сферах природопользования построен логический каркас генетической теории мелиорации сельскохозяйственных земель и на его основе предложен расчетный метод определения экологической нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий для целенаправленного управления и регулирования почвообразовательного процесса, продуктивности мелиорируемых земель.

Ключевые слова: генетическая теория, водный баланс, речной сток, энергия почвообразования, природообустройство

Формат цитирования: Мустафаев Ж.С. О генетической (гносеологической) теории мелиорации сельскохозяйственных земель // Природообустройство. 2023. № 2. С. 23-27. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-23-27.

© Мустафаев Ж.С., 2023

Original article

ON THE GENETIC (GNOSEOLOGICAL) THEORY OF AGRICULTURAL LAND RECLAMATION

Mustafaev Zhumakhan Suleymenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor

z-mustafa@rambler.ru

JSC «Institute of Geography and Water Security», Kazakhstan, Almaty, Medeusky district, str. Pushkin, 99.

Annotation. Based on studying the regularity of the formation of the genetic theory of runoff by A.I. Voyeykov, which belongs to the dependence of river runoff, atmospheric precipitation, and total evaporation, an attempt was made to establish a causal relationship between the coefficient of natural moisture by N.N. Ivanov, the «dryness index» or hydrothermal indicator by M.I. Budyko, and the energy costs of soil formation by V.R. Volobuev, in order to form a genetic (gnoseological) theory of agricultural land improvement. Using philosophical ideas and worldview in the field of natural resource management, a logical framework for the genetic theory of agricultural land improvement was constructed, and based on them, a calculation method was proposed to determine the ecological norm of water consumption for agricultural lands for purposeful management and regulation of the soil formation process and productivity of reclaimed lands.

Keywords: genetic theory, water balance, river runoff, energy of soil formation, environmental management

Format of citation: Mustafaev Zh.S. On the genetic (gnoseological) theory of agricultural land reclamation // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 23-27. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-23-27.

Введение. В ходе исторического развития человечества сформировались методы, способы и технологии природообустройства, обеспечивающие улучшение свойств природы и повышающие или восстанавливающие потребительскую стоимость почвы как объекта сельскохозяйственной деятельности для целенаправленного управления и регулирования почвообразовательного процесса и растительного покрова. При этом для изучения сложной структуры реальных объектов материальной среды (почвенного и растительного покрова) и согласования с ними сельскохозяйственной деятельности сформировались учения: В.В. Докучаева, В.Р. Вильямса, А.Н. Костякова о генезисе и мелиорации почв как особого природного тела; В.В. Докучаева, А.А. Григорьева и М.И. Будыко – о законе эволюции и географической зональности почв; В.Р. Волобуева – об энергии почвообразования; В.Х. Хачатурьяна, И.П. Айдарова, Л.М. Рекса – о деятельностно-природной системе. Базируются учения на деятельностном и экосистемном подходах к оценке преобразующей среды, комплексном обустройстве водосборов, системном исследовании мелиоративных процессов и систем, принципах обоснования экологически допустимых водопотребностей сельскохозяйственных угодий. Все протекающие в них процессы рассматриваются через призму конкретной антропогенной деятельности, опираясь на почвенно-экологические, ландшафтные и гидрохимические принципы мелиорации сельскохозяйственных земель.

Процессы формирования природы и природного процесса обладают региональной детерминированностью: на разных территориях различаются в зависимости от природно-географических зон, что требует необходимости генетического обоснования их качественных и количественных параметров.

На основе систематизации эволюции естественнонаучных взглядов, синтеза научных знаний, диалектического и абстрактно-логического методов познания природы и природного процесса формировалась фундаментальная теория в области природопользования и природообустройства, позволяющая построить логический каркас генетической (гносеологической) теории мелиорации сельскохозяйственных земель.

Цель исследований: развитие учения о мелиорации сельскохозяйственных земель на основе общих законов природы, изучения природных процессов и генезиса природообустройства.

Материалы и методы исследований. В качестве материалов использована

генетическая теория стока А.И. Воейкова, характеризующая главную природную функцию речного бассейна – стокообразование. Методы исследований основаны на способах познания деятельности природной системы с использованием логико-математического моделирования и понимания сущности изучаемых явления в рамках принципов интеграции знаний.

Результаты и их обсуждение. Генетическая теория речного стока, раскрывающая причинные связи не только стока, но элементов водного баланса, впервые были предложена знаменитым русским ученым А.И. Воейковым и выражается следующим образом [1]:

$$P = Y + E, \quad (1)$$

где P , Y , E – среднееголетние величины атмосферных осадков, речного стока и суммарного испарения.

Если разделить обе части уравнения водного баланса на среднееголетние величины атмосферных осадков, после некоторых преобразований получим модификации зависимости (1) годового коэффициента стока, предложенного Г. Келлером и Э.М. Ольдекопом [2, 3]:

$$\begin{aligned} P/P &= Y/P + E/P; \quad 1 = Y/P + E/P; \\ 1 - E/P &= Y/P; \quad 1 - E/P = Y/P; \quad k_c = Y/P, \end{aligned} \quad (2)$$

где k_c – годовой коэффициент стока.

Если разделить обе части уравнения водного баланса на среднееголетние величины суммарного испарения, после некоторых преобразований получим модификации коэффициента естественного увлажнения территории, предложенного Н.Н. Ивановым [4]:

$$\begin{aligned} P/E &= Y/E + E/E; \quad P/E = Y/P + 1; \\ 1 + Y/P &= P/E; \quad k_y = P/E, \end{aligned} \quad (3)$$

где k_y – коэффициент естественного увлажнения территории.

Математический смысл генетической теории годового коэффициента стока и коэффициента естественного увлажнения территории представляет собой уравнение водного баланса А.И. Воейкова и среднееголетние величины суммарного испарения, характеризующие теплообеспеченность и определяемые формулой Н.Н. Иванова [4]:

$$E_o = 0,0061 \cdot (25 + t)^2 (1 - 0,01 \cdot \alpha), \quad (4)$$

где E_o – испаряемость с водной поверхности, мм/сут.; t – средняя температура воздуха, °C; α – относительная влажность воздуха, %.

Одной из основных составляющих водного баланса речных бассейнов или сельскохозяйственных угодий являются среднееголетние величины суммарного испарения,

которые определяются по формуле П. Шайбера и Э.М. Ольдекопа [5]:

$$E = P[1 - \exp(E_o / P)] \text{ и } E = E_o \cdot th(P / E_o), \quad (5)$$

где th – функция гиперболического тангенса.

На основе структурного анализа формул П. Шайбера и Э.М. Ольдекопа, М.И. Будыко показано, что величина испаряемости зависит непосредственно от радиационного баланса испаряющей поверхности, что можно вычислить по формуле [6]:

$$E_o = R / L, \quad (6)$$

где R – радиационный баланс территории, кДж/см^2 ; L – скрытая теплота парообразования, равная $2,5 \text{ кДж/см}^2$.

Структура формул П. Шайбера, Э.М. Ольдекопа и их модификация в виде среднегеометрического соотношения, предложенного М.И. Будыко, включает в себя среднегодовое значение величины суммарного испарения, что позволяет уравнение водного баланса А.И. Воейкова представить в следующем виде:

$$P = Y + R / L. \quad (7)$$

Если разделить обе части уравнения водного баланса на среднегодовое значение атмосферных осадков, после некоторых преобразований получим модификацию «индекса сухости», предложенного М.И. Будыко [6]:

$$P/P = Y/P + R/L \cdot P; 1 - Y/P = R/L \cdot P; \bar{R} = R/L \cdot P, \quad (8)$$

где $\bar{R}$ – «индекс сухости», или гидротермический показатель.

Преимущество показателя «индекса сухости» ($\bar{R}$) перед другими является очевидным: во-первых, он характеризует условия тепло- и влагообеспеченности почвенного и растительного покрова ландшафтов, то есть биологического процесса; во-вторых, определяет в значительной степени условия формирования почвенных, гидрогеологических и геохимических условий; в-третьих, позволяет учесть характер и интенсивность антропогенной деятельности.

Для правильного понимания целей и задачи природообустройства необходимо определить систему ценностей и обозначить объект воздействия как пространственный базис природопользования. Такими ценностями являются человек и среда его обитания, а объектом воздействия является почва как основная часть биосферы ландшафты в целом и как основное средство, предмет труда в сельскохозяйственном производстве.

Реальная почва, как сложная открытая система, находящаяся в постоянном массо- и энергообмене с окружающей средой, являющейся структурной единицей биосферы –

биогеоценоза (экосистемы), для развития почвообразовательной деятельности использует солнечную энергию. Интенсивность и направленность почвообразовательного процесса во многом зависят от суммарной затраты энергии на почвообразование, которая определяется по формуле В.Р. Волобуева [7]:

$$Q_n = \alpha_o \cdot R = R \cdot \exp(-\alpha \cdot \bar{R}) = \exp(-0,47 \cdot \bar{R}), \quad (9)$$

где Q_n – суммарные затраты энергии на почвообразование, кДж/см^2 ; α_o – показатель полноты использования радиационной энергии в почвообразовании:

$$\alpha_o = \exp[-0,47(1/k_y)] = \exp(-\alpha \cdot \bar{R}), \quad (10)$$

здесь α – коэффициент, учитывающий состояние почвы и равный 0,47.

Эмпирическая зависимость для определения затрат энергии на почвообразование, полученная В.Р. Волобуевым, достаточно хорошо описывается физическим законом Бугерра-Ламберта-Бэра, характеризующим поглощение световой энергии средой [8]:

$$I(l) = I_o \cdot \exp(-k_\lambda \cdot l),$$

где $I(l)$ – интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной l ; I_o – интенсивность света на входе в вещество; – показатель поглощения; l – длина волны, которая показывает его физическую природу.

Теория мелиорации сельскохозяйственных земель, или почвообразовательного процесса, состоит из трех компонентов: коэффициента естественного увлажнения Н.Н. Иванова; показателя «индекса сухости», или гидротермического показателя, М.И. Будыко; затрат энергии на почвообразование В.Р. Волобуева, – как индикаторов физических процессов, выполняющих важные средообразующие или экологические функции и повышающих или восстанавливающих потребительскую стоимость почвы, как объекты сельскохозяйственной деятельности, для целенаправленного управления и регулирования почвообразовательного процесса и растительного покрова. При этом под генетической теорией мелиорации сельскохозяйственных земель понимают обоснование индикаторов физических процессов почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий, позволяющих количественно воспроизводить основные физические закономерности формирования почвообразовательного процесса и биологических масс сельскохозяйственных культур на основе теоретических представлений средообразующих или экологических функций природной системы.

Суммарное испарение на сельскохозяйственных угодьях, являющихся одной из составляющих водного баланса территории, формируется

под влиянием их годового радиационного баланса поверхности почвы (R_i), который составляет разность между количеством поглощенной коротковолновой радиации солнца и эффективным длинноволновым излучением деятельной поверхности. Он обуславливается: теплом, затраченным на испарение, то есть результатом умножения скрытой теплоты парообразования (L) на суммарное испарение (ET_{ci}); теплообменом в почве между поверхностными и более глубокими слоями (B_{ni}); турбулентным теплообменом между деятельной поверхностью и атмосферой (P_{mi}). Тогда суммарное испарение сельскохозяйственных угодий, мм, вычисляется уравнением [6]:

$$ET_{ci} = (R_i - P_{mi} - B_{ni}) \cdot L^{-1}. \quad (11)$$

При измерении радиационного баланса, ккал/см², за период t , стремясь получить ET_{ci} , мм, при $L = 0,6$ ккал/см³ будем иметь [9]: $ET_{ci} = 16,7 \cdot (R_i - P_{mi} - B_{ni})$, а при измерении R_i , кДж/см², $L = 2,5$ кДж/см³ ET_{ci} , мм, будет равно: $ET_{ci} = 4,0 \cdot (R_i - P_{mi} - B_{ni})$.

Поскольку в среднем за год верхние слои почвы не охлаждаются и не нагреваются, для среднего многолетнего годовичного периода в условиях суши $P_m = 0$, а поток тепла между поверхностью почвы и нижележащими слоями близок к нулю, то есть $B_n = 0$. Тогда уравнение для определения суммарного испарения сельскохозяйственных угодий (ET_{ci} , мм) примет следующий вид [9]:

$$ET_{ci} = 4,0 \cdot R_i \cdot L^{-1}. \quad (12)$$

Географическая особенность радиационного баланса (R) деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы характеризуется суммой активных температур воздуха ($\sum t > 10^\circ\text{C}$). Для расчета радиационного баланса по сумме активных температур Ю.Н. Никольским и В.В. Шабановым [10] установлена следующая зависимость:

$$R_i = 13,39 + 0,0079 \cdot \sum t_i > 10^\circ\text{C}. \quad (13)$$

Изучение и установление количественных показателей суммарного водопотребления (эвапотранспирации) естественными сельскохозяйственными угодьями представляют актуальную задачу, которая определяется на основе уравнения водного баланса, имеющего следующий вид:

$$ET_{ci} - O_{ci} - g = \Delta ET_{ci} \text{ или } 4,0 \cdot R_i \cdot L^{-1} - O_{ci} - g = \Delta ET_{ci}, \quad (14)$$

где ΔET_{ci} – дефицит суммарного водопотребления, мм; g – влагообмен между почвенными и грунтовыми водами, мм; O_{ci} – атмосферные осадки, мм.

Для обоснования экологической нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий можно использовать «радиационный индекс

сухости» ($\bar{R}_i = R_i / L \cdot O_{ci}$), характеризующий принцип энергетической сбалансированности тепла, влаги и питательных веществ, с учетом природных режимов, позволяющий обеспечить развитие почвообразовательного процесса в соответствии с законом эволюции [11].

В условиях природообустройства (мелиорация сельскохозяйственных земель) комплексный гидротермический показатель («радиационный индекс сухости») (R_i) с учетом дефицита суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий (дефицита экологической нормы водопотребности) ($\Delta ET_{ci}^a = O_{pi}^a$) может быть выражен следующей формулой: $\bar{R}_i = (4,0 \cdot R_i / L) \cdot (O_{ci} + (\Delta ET_{ci}^a))$.

Далее для определения дефицита экологической нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий проведем некоторые преобразования:

$$\begin{aligned} (O_{ci} + (\Delta ET_{ci}^a)) \cdot L &= 4,0 \cdot (R_i / \bar{R}_i); \\ O_{ci} + (\Delta ET_{ci}^a) &= 4,0 \cdot (R_i / \bar{R}_i) \cdot L; \\ \Delta ET_{ci}^a &= [4,0 \cdot (R_i / \bar{R}_i) \cdot L] - O_{ci}. \end{aligned} \quad (15)$$

При этом предельно-допустимый дефицит экологической нормы водопотребности (оросительная норма) сельскохозяйственных угодий определяется с учетом геоэкологических ограничений, то есть при ($\bar{R}_i = 0,9 - 1,0$), когда в природной среде наблюдаются благоприятные условия для формирования почвообразовательного процесса, то есть при $\bar{R}_i = 1,0$ дефицит экологической нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий определяется как

$$\Delta ET_{ci}^a = [4,0 \cdot (R_i / L)] - O_{ci}. \quad (16)$$

Геоэкологические ограничения при нормировании «дефицита экологического водопотребления сельскохозяйственных угодий» (ΔET_{ci}^a) и «избытка солнечной энергии на почвообразовательный процесс» (ΔQ_{ii}) тесно связаны между собой. С учетом особенностей и взаимообусловленности этих природных процессов потенциальные затраты солнечной энергии на почвообразовательный процесс (Q_{ni}^n), при $\bar{R}_i = 1,0$ определяются следующим образом:

$$Q_{ni}^n = R_i \cdot \exp(-\alpha).$$

В естественных природных условиях «избыток солнечной энергии на почвообразовательный процесс» (ΔQ_{ni}^u), то есть неиспользованного годового радиационного баланса поверхности почвы (R_i), определяется как

$$\begin{aligned} \Delta Q_{ni}^u &= Q_{ni}^n - Q = R \cdot \exp(-\alpha) - R \cdot \exp(-\alpha \cdot \bar{R}_i); \\ \Delta Q_{ni}^u &= R_i [\exp(-\alpha) - \exp(-\alpha \cdot \bar{R}_i)] = R_i \cdot \exp[-(\alpha - \alpha \cdot \bar{R}_i)]; \\ \Delta Q_{ni}^u &= R_i \cdot \exp\{-[\alpha \cdot (1 - \bar{R}_i)]\}. \end{aligned} \quad (17)$$

Следует отметить, что «дефицит экологического водопотребления сельскохозяйственных угодий» (ΔET_{ci}^a) и «избыток солнечной энергии на почвообразовательный процесс» (ΔQ_{ii}) при одинаковых условиях тепло- и влагообеспеченности ($\bar{R}_i$) находятся в прямой зависимости от радиационного баланса поверхности почвы (R_i).

На основе этих естественнонаучных представлений о современных экологических механизмах нормирования мелиорации можно определить дефицит экологического водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\Delta ET_{ci}^a = O_{pi}^a$), обеспечивающих оптимальное использование «избытка солнечной энергии на почвообразовательный процесс» (ΔQ_{ii})

естественных ландшафтов в гидроагроландшафтах:

$$\Delta ET_{ci}^a = O_{pi}^a = \Delta Q_{ii}^u / L. \quad (18)$$

Выводы

Таким образом, результаты теоретических исследований и полученных методологических обоснований генетических теорий мелиорации сельскохозяйственных земель предназначены для разработки новых концепций и стратегий, законодательных актов и совершенствования нормативно-технической документации, конструирования гидроагроландшафтных систем, обеспечивающих восстановление и экологическую устойчивость природных систем.

Список использованных источников

1. **Воейков А.И.** Климаты земного шара, в особенности России. Санкт-Петербург: Картогр. заведение А. Ильина, 1884. [2], VI, 640
2. **Келлер Р.** Воды и водный баланс суши: М.: Прогресс, 1965. 435 с.
3. **Ольдекоп Е.М.** Об испарении с поверхности речных бассейнов: Сб.работает. Т. 4. Юрьев, тип.Эд.Бергман, 1911. 209 с.
4. **Иванов Н.Н.** Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР. Серия «География и геофизика». 1941. № 3. С. 15-32.
5. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под ред. В.С. Мезенцева. М.: Колос, 1974. 240 с.
6. **Будыко М.И.** Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. 256 с.
7. **Волобуев В.Р.** Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. 120 с.
8. **Борн М., Вольф Э.** Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
9. **Сенчуков Г.А., Новикова И.В.** Суммарное водопотребление и урожайность сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4(20). С. 108-119.
10. **Никольский Ю.Н., Шабанов В.В.** Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелиорируемых земель // Гидротехника и мелиорация. 1986. № 9. С. 52-56.
11. **Мустафаев Ж.С.** Основные принципы нормирования водопотребности агроландшафтов / Рябцев А.Д., Козыкеева А.Т., Кененбаев Т.С. // Водное хозяйство Казахстана. 2009. № 2. С. 3-12.

Критерии авторства

Мустафаев Ж.С.. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023

Одобрена после рецензирования 02.03.2023

Принята к публикации 10.04.2023

References

1. **Voeikov A.I.** Climates of the globe, especially Russia. St. Petersburg: Kartogr. institution of A. Ilyin, 1884. [2], VI, 640
2. **Keller R.** Water and the water balance of the land. Moscow: Progress, 1965. 435 p.
3. **Oldekop E.M.** On evaporation from the surface of river basins: Sat.works. T. 4. Yuriev, type. Ed. Bergman, 1911. 209 p.
4. **Ivanov N.N.** Humidification zones of the globe // Izvestiya AS of the USSR, geography and geophysics series. 1941. No. 3. P. 15-32.
5. Moisture supply regimes and hydromelioration conditions in the steppe region (edited by V.S. Mezentsev). Moscow: Kolos, 1974. 240 p.
6. **Budyko M.I.** Thermal balance of the earth's surface. L.: Gidrometeoizdat, 1956. 256 p.
7. **Volobuev V.R.** Introduction to the energetics of soil formation. M.: Nauka, 1974. 120 p.
8. **Born M., Wolf E.** Fundamentals of Optics. M., Nauka, 1973. 720 p.
9. **Senchukov G.A., Novikova I.V.** Total water consumption and productivity of agricultural crops // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, 2015. No. 4 (20). P. 108-119
10. **Nikolsky Yu.N., Shabanov V.V.** Calculation of the design yield depending on the water regime of reclaimed lands // Hydrotechnics and melioration. 1986. № 9. P. 52-56.
11. **Mustafaev Zh.S.** Basic principles of rationing the water demand of agricultural landscapes/ Ryabtsev A.D., Kozykeeva A.T., Kenenbaev T.S. i dr. // Water management of Kazakhstan, 2009. № 2. P. 3-12.

Criteria of authorship

Mustafaev Zh.S. carried out theoretical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript. He has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 09.01.2023

Approved after reviewing 02.03.2023

Accepted for publication 10.04.2023

Оригинальная статья

УДК 631.67

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35



АДАПТИВНОЕ НОРМИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЕМ

Панкова Татьяна Анатольевна , канд. техн. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>; vtanja@mail.ru, pankova-sgau@yandex.ru

Кравчук Алексей Владимирович, д-р техн. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>; aleks100sgau@yandex.ru

Орлова Светлана Сергеевна, канд. техн. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>; orlovass77@mail.ru

Михеева Ольга Валентиновна, канд. техн. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-7375-0288>; omuk@inbox.ru

Миркина Елена Николаевна, канд. техн. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>; docentmirkina@rambler.ru

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

Аннотация. Рассматривается проблема широкого развития орошения на территории Саратовского Заволжья, что привело к ухудшению мелиоративного состояния земель, которое можно приостановить путем разработок совершенного нормирования орошения путем автоматизированных программ. Поэтому актуальным является вопрос повышения эффективности нормирования орошения путем определения общего водопотребления растений с учетом водного режима почвы, состояния деятельной поверхности, метеоусловий и биологических особенностей культуры. В статье приводятся математические зависимости, применяемые для разработки автоматизированной системы адаптивного нормирования орошения на примере культуры люцерны в условиях сухостепного Заволжья Саратовской области. При выборе метода определения испарения было проведено сравнение результатов расчета испарения по методам Н.Н. Иванова и метода Будыко-Зубенок. Приводятся известные зависимости динамики водного режима расчетного слоя почвы, водопотребления, коэффициентов, характеризующих биологические особенности культуры в процессе роста и развития, состояния активной поверхности, расчетной нормы полива, условие поддержания запасов влаги активного слоя почвы в оптимальном диапазоне, обеспечивающего минимальную потерю воды и оптимальное влагообеспечение культуры, заложенные в основу автоматизированной расчетной программы адаптивного нормирования орошением. Адаптивное нормирование орошением заключается в определении суммарного водопотребления сельскохозяйственной культурой с учетом водного режима почвы, состояния деятельной поверхности, метеорологических сведений и биологических характеристик растения (культуры). Предложена программа адаптивного регулирования полива на примере культуры люцерны, которая позволит повысить эффективность использования оросительной воды на территории Саратовского Заволжья и, как результат, позволит улучшить экологическую ситуацию в данном регионе.

Ключевые слова: нормирование, орошение, культура, модель, адаптация, теория, зависимости, факторы, водопотребление, испарение, влажность

Формат цитирования: Панкова Т.А., Кравчук А.В., Орлова С.С., Михеева О.В., Миркина Е.Н. Адаптивное нормирование орошением // Природообустройство. 2023. № 2. С. 28-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35.

© Панкова Т.А., Кравчук А.В., Орлова С.С., Михеева О.В., Миркина Е.Н., 2023

Original article

ADAPTIVE IRRIGATION RATIONING

Pankova Tatyana Anatolievna , candidate of technical sciences, associate professor

<https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>; vtanja@mail.ru, pankova-sgau@yandex.ru

Kravchuk Alexey Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor

<https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>; aleks100sgau@yandex.ru

Orlova Svetlana Sergeevna, candidate of technical sciences, associate professor

<https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>; orlovass77@mail.ru

Mikheeva Olga Valentinovna, candidate of technical sciences, associate professor

<https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>; omuk@inbox.ru

Markina Elena Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor

<https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>; docentmirkina@rambler.ru

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. This article deals with the problem of the widespread development of irrigation in the territory of the Saratov Trans-Volga region, which led to the deterioration in the reclamation state of lands, which can be suspended by developing perfect irrigation rationing through automated programs. Therefore, the issue of increasing the efficiency of irrigation rationing by determining the total water consumption of plants, taking into account the water regime of the soil, the state of the active surface, weather conditions and biological characteristics of the crop is relevant. The article presents mathematical dependencies used to develop an automated system for adaptive irrigation rationing on the example of alfalfa culture in the conditions of the dry steppe Trans-Volga area of the Saratov region. When choosing a method for determining evaporation, a comparison was made of the results of calculating evaporation using the methods of N.N. Ivanov and the Budyko-Zubenok method. The known dependences of the dynamics of the water regime of the calculated soil layer, water consumption, coefficients characterizing the biological characteristics of the crop in the process of growth and development, the state of the active surface, the calculated irrigation rate, the condition for maintaining the moisture reserves of the active soil layer in the optimal range, ensuring minimal water loss and optimal moisture supply of the crop are given that form the basis of the automated calculation program for adaptive rationing by irrigation. Adaptive rationing by irrigation consists in determining the total water consumption by an agricultural crop, taking into account the water regime of the soil, the state of the active surface, meteorological information and the biological characteristics of the plant (crop). A program of adaptive irrigation regulation is proposed on the example of a crop – alfalfa, which will improve the efficiency of irrigation water use in the Saratov Trans-Volga region, and as a result will improve the ecological situation in this region.

Keywords: rationing, irrigation, culture, model, adaptation, theory, dependencies, factors, water consumption, evaporation, humidity

Format of citation: Pankova T.A., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mikheeva O.V., Mirkina E.N. Adaptive irrigation rationing // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 28-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35.

Введение. Главным ресурсом поддержания эффективности мелиорируемых земель при выращивании сельскохозяйственных культур в степной и сухостепной зонах служит орошение, но его масштабное развитие нередко приводит к таким экологическим неблагоприятным ситуациям, как повышение уровня грунтовых вод, понижение плодородия земель, засоление почвы, возникновение водной эрозии. Перечисленные отрицательные процессы являются результатом того, что в структуре водопотребления при орошении происходит непроизводительная потеря воды (50-60% от водозабора). Недостаток естественной влаги в степной и сухостепной зонах негативно сказывается на устойчивости сельскохозяйственного производства. Важным средством повышения продуктивности в зоне

недостаточного увлажнения наряду с использованием научно обоснованных систем сухого земледелия является орошение, позволяющее оптимизировать водный режим почвы, уменьшить дефицит воды в агроценозах и нейтрализовать последствия засух. Это определило расширение площади орошаемых земель в мире. Сухостепное Заволжье находится в зоне рискованного земледелия, где возделывать сельскохозяйственные культуры без орошения невозможно. В то же время широкое развитие ирригации в 1980-е гг. привело к резкому ухудшению экологической ситуации в нашем регионе.

Снижение мелиоративного состояния земель является результатом низкого качества управления орошением. Как отмечают А.В. Кравчук, Н.А. Пронько, В.В. Корсак,

А.С. Фалькович [1, 2] и другие ученые, ошибка была допущена еще в начале широкой ирригации сельскохозяйственных земель области. Известно также, что большое количество оросительных систем функционирует не в проектных режимах, и нагрузки на мелиоративные земли превышают допустимые. Причиной такого неблагоприятного состояния орошаемых земель и низкой урожайности орошаемых культур может быть несовершенное регулирование орошения, при котором определение общего водопотребления осуществляется лишь с учетом биологических свойств растения и погодных условий, учитываемых для конкретных условий среды. Использование такой модели для оценки влияния влагообеспеченности сельскохозяйственного поля на величину общего водопотребления направлено только на получение максимально урожая и приводит к перерасходу воды.

Управление водным режимом орошаемых земель, безусловно, сопряжено с определенными трудностями, но современный уровень средств вычислительной техники, применяемых компьютерных технологий позволяет преодолевать эти трудности и применять методы математического моделирования для управления процессами при орошении сельскохозяйственных культур путем разработанных компьютерных программ. Решение проблемы может быть также достигнуто путем адаптивного нормирования орошения, основанного на определении общего водопотребления с учетом складывающегося водного режима почвы, состояния активной поверхности, погодных условий, биологических особенностей растений и направленного на получение заданного урожая культуры.

Современный уровень развития компьютерных технологий, методов математического моделирования и вычислительной техники позволяет применять для оперативного управления орошением математические модели на основе расчетных зависимостей воднобалансового метода. Эффективность управления при их использовании зависит от того, насколько реально они отражают фактическую динамику водного режима посевов, достоверно оценивают величины суммарного испарения и другие элементы водного баланса.

Цель исследований: повышение эффективности использования оросительной воды путем адаптивного нормирования полива люцерны для условий сухостепного Заволжья.

Материалы и методы исследований. В результате проведенного анализа работ российских и зарубежных ученых было установлено,

что результатом увеличения технического уровня систем гидромелиорации может быть решено от 30 до 40% актуальных экологических проблем, другая же часть может быть устранена лишь за счет повышения эффективности управления водными ресурсами. Однако всем известно, что управление водным режимом орошаемых земель связано с множеством трудностей. Это объясняется тем, что динамика влагообеспеченности посевов напрямую зависит от большого количества случайных и непредсказуемых факторов. Однако новый этап развития возможностей цифровой вычислительной техники и компьютерных технологий позволяет преодолевать сложившиеся трудности и применять методы математического моделирования для управления технологическими процессами при орошении. Серьезные проблемы, вызванные неправильным подходом в орошении, не позволяют отказаться от ирригации, так как альтернативы орошения на территории нашей области быть не может. Можно лишь приостановить дальнейшее снижение плодородия почвы, попытаться обеспечить и повысить сельскохозяйственное производство, снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции путем рационального использования воды, адаптивного размещения сельскохозяйственных культур, а именно выращивать такие культуры, которые будут расходовать большее количество влаги. Это в свою очередь будет приводить к понижению уровня грунтовых вод и снижению содержания солей, тем самым – к уменьшению площади засоления поливных земель.

Прогнозированием водно-солевого режима занимались А.С. Фалькович, Н.А. Пронько [3]. На территории Саратовского Заволжья такой культурой является люцерна. Именно на примере этой культуры будет адаптирована модель С.В. Затицацкого [4], разработанная для условий сухостепного Заволжья.

Растение-культура в процессе своего роста и развития напрямую зависит от водопотребления [5, 6], которое зависит в свою очередь от водного режима почвы, воздушного режима почвы, температурного режима и режима питания. Известна зависимость общего водопотребления сельскохозяйственной культуры, показывающая, что общий расход воды является функцией от климатических факторов, запасов влаги в почве и биологических характеристик растения-культуры [7, 8].

Прежде всего потребление воды растением напрямую зависит от испарения с орошаемого поля, подстилающая поверхность которого

существенно изменяется в вегетационный период роста и развития культуры. Для выбора точной методики определения испарения было проанализировано два метода: метод Н.Н. Иванова и метод Будыко-Зубенко.

Метод, предложенный Н.Н. Ивановым, показывает, что испарение зависит от температуры воздуха и относительной влажности:

$$E = 0,0018(25 + t)^2 (100 - \phi), \quad (1)$$

где t – температура воздуха, °С; ϕ – относительная влажность, %.

Метод определения испарения по Будыко-Зубенко представляет собой графический метод, выражающийся в криволинейных зависимостях (рис. 1) испарения и недостаточной влажности воздуха, рассчитанного по месяцам. Криволинейные зависимости описываются уравнением:

$$E = ad_{\phi}^3 - bd_{\phi}^2 + cd_{\phi} + k, \quad (2)$$

где E – испарение, мм; d_{ϕ} – недостаточная влажность воздуха, мБ; a, b, c, k – эмпирические коэффициенты.

Сравнение результатов расчета испаряемости по методу Будыко-Зубенко и методу Н.Н. Иванова показывает, что более точные коэффициенты для условий сухостепного Заволжья получены по методу Будыко-Зубенко (рис. 2).

За время своего роста и развития культура люцерны потребляет различное количество влаги. Например, в период посева до отрастания подстилающую поверхность характеризуют как открытую поверхность почвы, в процессе роста культуры изменяющую свое состояние и оказывающую влияние на влажность почвы, которая должна находиться в определенных пределах в течение каждой фазы растения-культуры. Это является основным параметром при нормировании орошения.

Для поддержания оптимальной влажности почвы и получения необходимого урожая следует стремиться к рациональному и экономному расходу поливной воды путем контроля нормирования орошения при снижении топливно-энергетических ресурсов на орошение. Как считают Т.И. Сафронова и В.И. Степанов [9], основным технологическим критерием контроля нормирования поливов является динамика содержания влаги в активном слое почвы, на изменчивость которой влияют структура корневой системы,

плотность почвы, пористость почвы, величина увлажнения почвы в результате орошения и выпадения осадков, глубина залегания грунтовых вод и природно-климатические условия места возделывания культуры.

Действительное наличие влаги в определенном слое почвы определяется экспериментально. Затем проводится интерполяция значения влажности почвы с учетом орошения и осадков, затем определяется среднее значение запасов влаги за необходимый временной интервал. Динамика водного режима расчетного слоя почвы описывается известным уравнением:

$$W_k = W_n + P + \sum m \pm q - ET, \quad (3)$$

где W_k – запасы влаги в почве на конец расчетного периода, мм; W_n – запасы влаги в почве на начало расчетного периода, мм; P – количество осадков, мм; $\sum m$ – сумма поливных норм, мм; q – влагообмен активного слоя почвы с подстилающими грунтами, мм.

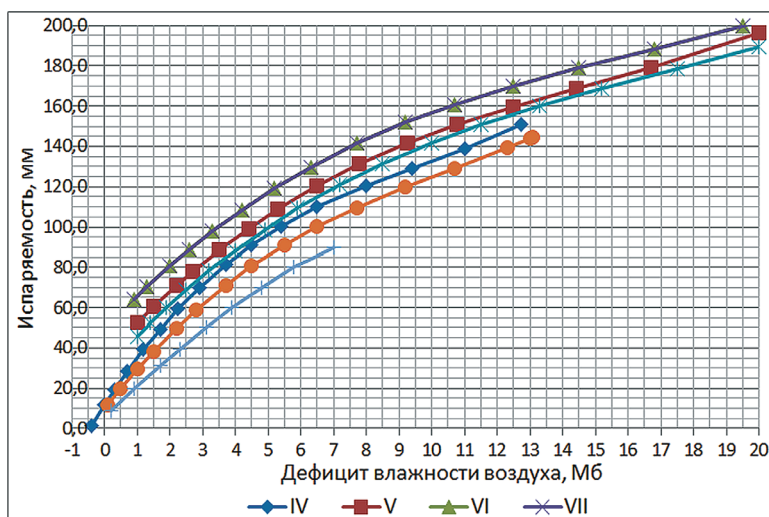


Рис. 1. График зависимости испарения от недостатка влажности воздуха для степной зоны по месяцам года

Fig. 1. Graph of the dependence of evaporation on the lack of air humidity for the steppe zone by months of the year



Рис. 2. Сравнение коэффициентов, рассчитанных по методам Н.Н. Иванова и Будыко-Зубенко

Fig. 2. Comparison of coefficients calculated by the methods of N.N. Ivanov and Budyko – Zubenok

Вместе с определением необходимых для растения запасов влаги в почве определяется водопотребление по модели, предложенной С.В. Затицаким [10] и разработанной для условий сухостепного Заволжья. Она учитывает водный режим почвы, погодные условия, биологические особенности растения-культуры и состояние активной поверхности почвы:

$$ET = \frac{E \cdot A_n}{\left(1 + 10^{\gamma - \beta \frac{W_{act} - W_{pwp}}{W_{FC} - W_{pwp}}}\right)}, \quad (4)$$

где ET – общий расход воды, мм; E – испарение, мм; W_{act} – фактические запасы влаги, мм; W_{pwp} – запасы влаги почвы, соответствующие влажности увядания, мм; W_{FC} – запасы влаги почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости, мм; A_n , γ и β – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние активной поверхности и биологических особенностей культуры в процессе роста и развития, которые определяются по зависимостям:

$$\beta = \frac{\sum \left(lq \frac{A_n}{ET/E} - 1 \right) \cdot \sum W}{n} - \sum W \cdot lq \left(\frac{A_n}{ET/E} - 1 \right); \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\sum lq \left(\frac{A_n}{ET/E} - 1 \right) - \sum W \cdot \beta}{n}. \quad (6)$$

Для определения коэффициента состояния активной поверхности используется следующая зависимость:

$$A_n = \frac{k_6 \cdot \sum d_\phi \cdot (1 + 10^{\gamma - \beta \cdot \overline{W_{act}}})}{E}, \quad (7)$$

где A_n , γ и β – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние активной поверхности и биологические особенности культуры в течение вегетационного периода; k_6 – биоклиматический коэффициент, мм/мБ; $\sum d_\phi$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мБ; $\overline{W_{act}}$ – относительные запасы продуктивной влаги в почве, %.

Используя экспериментальные данные по водопотреблению люцерны, выяснили, как будет определяться зависимость суммарного водопотребления к испаряемости (ET/E) от относительных запасов продуктивной влаги в почве в течение вегетационного периода люцерны [10]:

$$ET/E = A_n / (1 + 10^{\gamma - \beta \cdot \overline{W_{act}}}), \quad (8)$$

где ET/E – отношение общего расхода воды к испарению, мм; A_n , γ и β – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние активной поверхности и биологические особенности культуры в течение вегетационного периода. Данная эмпирическая зависимость (8) уточняет положение о прямой пропорциональности между потреблением воды и запасами влаги в почве при поддержании влажности в расчетном слое почвы.

Верхним пределом оптимальной влажности для растений являются максимальная влажность и запас влаги, который соответствует наименьшей влагоемкости почвы (полной полевой влагоемкости) W_{FC} , при увлажнении почвы выше которой, избыток влаги приводит к вымыванию питательных веществ растений, эрозии почвы, пополнению запасов подземных вод и снижению плодородия земли [11, 12]. Поэтому максимальная норма полива, мм, не должна превышать значения влажности с наименьшей влагоемкостью:

$$m_{nt} = 100 \cdot h_w \cdot \rho \cdot (\omega_{FC} - b \cdot \omega_{cr}), \quad (9)$$

где m_{nt} – расчетная норма полива, мм; h_w – расчетная глубина пропитки почвы, м; ρ – плотность почвы, т/м³; ω_{FC} – влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости, % по массе; ω_{cr} – влажность, соответствующая допустимому уровню высыхания; b принимается в зависимости от гранулометрического состава почвы.

Из уравнения (9) следует, что величина нормы полива зависит от слоя влажности (h_w) и порога влажности перед поливом (ω_{cr}).

Поддержание запасов влаги активного слоя почвы в оптимальном диапазоне должно происходить за счет соблюдения условия:

$$W_{FC} \geq W_{act} > W_{cr}. \quad (10)$$

При таком поддержании запасов влаги в соответствии с выражением (10) будут обеспечены минимизация потерь воды и оптимальное влагообеспечение растения-культуры.

Несоответствие между расчетной оценкой и фактической влагообеспеченностью растений приводит к потере всех преимуществ компьютерного управления, к развитию экологически неблагоприятных процессов на орошаемых землях, снижению эффективности орошения в целом и нерациональному использованию поливной воды.

Результаты и их обсуждение. Управление орошением с использованием математических моделей требует предварительного теоретического обоснования и экспериментального определения норм водопотребления сельскохозяйственных культур, параметров модели, организации информационного обеспечения, позволяющего получать точные количественные характеристики влагообеспеченности сельскохозяйственных культур и регулировать водный режим почвы в соответствии с меняющимися стадиями органогенеза потребности в растениях в воде.

Вышеизложенное указывает на то, что для рационального использования оросительной воды с учетом экологических ограничений необходимо провести работу по совершенствованию

информационного обеспечения компьютерных технологий управления орошением, уточнению методов расчета определения общего испарения, водопотребления на основе исследований агрометеорологического и водно-теплового баланса в различных почвенно-климатических и гидрогеологических условиях.

На основе представленных зависимостей и моделей была разработана программа адаптивного регулирования полива люцерны. Алгоритм программы заключается в ежедневном определении всех показателей адаптивного нормирования полива люцерны на весь вегетационный период: запасы влаги в почве, испарение, общее

водопотребление культуры, норма полива, количество поливов, норма полива и дни полива.

В программе присутствуют 3 типа данных, которые вводятся вручную, вычисляются автоматически по заданному алгоритму, и графическая часть программы (дата вегетационного периода и запасы влаги в почве) (рис. 3, 4).

В результате адаптивного нормирования полива люцерны норма полива и дни полива устанавливаются в соответствии с графической частью программы (рис. 5), которая представляет собой график динамики запасов влаги в почве в течение всего вегетационного периода культуры.

Рис. 3. Ввод данных

Fig. 3. Data entry

Рис. 4. Окно ввода дополнительных данных

Fig. 4. Additional data entry window

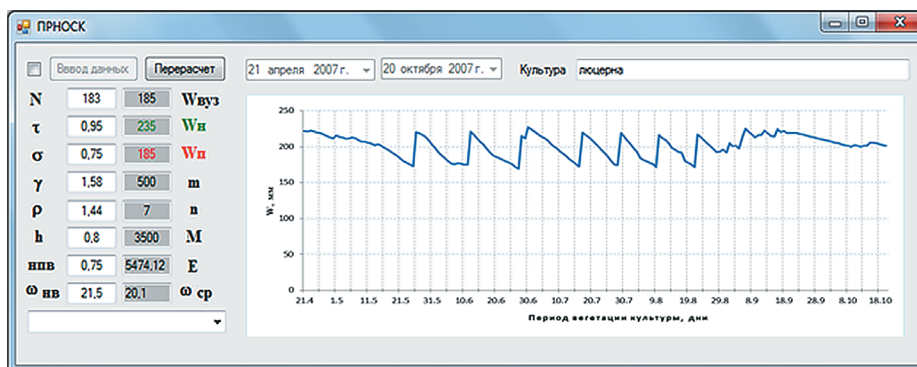


Рис. 5. Графическая часть программы

Fig. 5. Graphic part of the program

Выводы

Реализованное качество управления зависит не только от уровня обеспеченности потребителей коммуникациями, вычислительной техникой, но и от того, насколько точно модели позволяют оценить динамику водного баланса сельскохозяйственных культур, точность и надежность информационного обеспечения. Для определения общей экономической эффективности использования программы адаптивного нормирования орошением проведено соотношение полученных результатов и затрат на возделывание культуры люцерны, который показал, что возделывая культуру люцерны в условиях Саратовского Заволжья, применяя предложенную методику и программу, можно повысить урожайность в среднем на 15%, снизить затраты поливной воды на 11% и затраты на формирование 1 т зеленой массы на 19%. Рациональное использование водных ресурсов обеспечит высокую экономическую эффективность и экологическую устойчивость. Компьютерные программы

являются надежным инструментом для решения задач планирования и управления режимом орошения, но только при оперировании достоверной информацией, отражающей состояние агроценоза и высокую точность расчета оптимального режима для конкретной культуры и конкретных условий.

Предложенная методика позволяет определять общее водопотребление культуры с учетом формирования водного режима расчетного слоя почвы, погодных условий внешней среды, состояния активной поверхности почвы и биологических характеристик культуры в различные фазы вегетационного периода.

Представленная методика и программа позволяют оптимально управлять орошением и получать от него максимальный эффект, направленный прежде всего на решение экологических проблем сухостепного Заволжья. Программа предназначена для специалистов отдельных фермерских хозяйств и разработки планов водопользования.

Список использованных источников

1. **Кравчук А.В.** Оперативное определение поливной нормы для каштановых и темно-каштановых почв Заволжья // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. № 2. С. 42-43.
2. **Пронько Н.А., Корсак В.В., Фалькович А.С.** Орошение в Поволжье: не повторять ошибок // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 4. С. 16-19.
3. **Фалькович А.С., Пронько Н.А.** Прогноз водно-солевого режима почвогрунтов в системе проектирования и мониторинга объектов мелиорации // Аграрный научный журнал. 2010. № 10. С. 62-69.
4. **Затинацкий С.В., Панкова Т.А.** Ресурсосберегающая математическая модель нормирования орошения // Научное обозрение. 2013. № 11. С. 10-13.
5. **Корсак В.В., Прокопец Р.В., Е.В., Юдина М.Р.** Определение суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в аридных зонах // Научная жизнь. 2016. № 1. С. 41-51.
6. **Korsak V.V.** Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river / N. Pronko, O. Karpova, V. Shadskikh, V. Kizhaeva // Advances in Dynamical Systems and Applications. 2021. Vol. 16. Number 1. Pp. 121-132.
7. **Abdrzakov F.K., Mikheeva O.V., Pankova T.A. et al.** Assignment of Irrigation Norms for Available Water Reserves Taking Into Account Soil Heterogeneity as a Water Saving Approach to Crop Irrigation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent, Uzbekistan, 23-25 апреля 2020 г. Tashkent: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. Vol. 883. P. 012078.
8. **Abdrzakov F.K., Pankova T.A., Zatinatsky S.V. et al.** Increasing Efficiency of Water Resources Use in Forage Crops Irrigation // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. Vol. 8, № 1. Pp. 283-293.

References

1. **Kravchuk A.V.** Operational determination of the irrigation norm for chestnut and dark chestnut soils of the Trans-Volga region / A.V. Kravchuk // Melioration and water management. 2007. No. 2. P. 42-43.
2. **Pronko N.A.** Irrigation in the Volga region: do not repeat mistakes. / V.V. Korsak, A.S. Falkovich // Melioration and water management. 2014. No. 4, P. 16-19.
3. **Falkovich A.S.** Forecast of the water-salt regime of soils in the system of design and monitoring of land reclamation facilities / A.S. Falkovich, N.A. Pronko // Agrarian scientific journal. 2010. No. 10. P. 62-69.
4. **Zatinatsky S.V.** Resource-saving mathematical model of irrigation rationing / S.V. Zatinatsky, T.A. Pankova // Scientific Review. 2013. No. 11. P. 10-13.
5. **Korsak V.V.** Determination of the total water consumption of agricultural crops in arid zones / R.V. Prokopets, A.N. Nikishanov, E.V. Arzhanukhina, M.R. Yudina // Scientific life. 2016. No. 1. P. 41-51.
6. **Korsak V.V.** Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river / N. Pronko, O. Karpova, V. Shadskikh, V. Kizhaeva // Advances in Dynamical Systems and Applications. – ISSN0973-5321. Volume 16. Number 1. 2021. P. 121-132.
7. **Abdrzakov F.K.** Assignment of Irrigation Norms for Available Water Reserves Taking Into Account Soil Heterogeneity as a Water Saving Approach to Crop Irrigation / O.V. Mikheeva, T.A. Pankova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent, Uzbekistan, 23-25 апреля 2020 года. Vol. 883. Tashkent, Uzbekistan: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 012078.
8. **Abdrzakov F.K.** Increasing Efficiency of Water Resources Use in Forage Crops Irrigation / T.A. Pankova, S.V. Zatinatsky [et al.] // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. Vol. 8. No 1. P. 283-293.

9. Сафронова Т.И., Степанов В.И. Математическое моделирование в задачах агрофизики: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2012. 182 с.

10. Затицкий С.В. Модели валидации в техническом нормировании (на примере ресурсосберегающих моделей водопотребления) / Панкова Т.А., Шмагина Э.Ю., Кочетков А.В. // Наукоедение. 2014. № 5.

11. Кравчук А.В., Корсак В.В., Кудайбергенова И.Р. Параметры увлажнения почвы в проведении экологических режимов орошения культур // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2018. № 11. С. 126-130.

12. Zeyliger A. Results of the analysis of water stress regimes for irrigated crops based on remote sensing data / A. Zeyliger, O. Ermolaeva, D. Antonov, F. Serebrennikov, A. Kravchuk, S. Zatinatsky // Advances in Science, Technology and Innovation. 2022. Pp. 319-322.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 03.02.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к публикации 21.03.2023

9. Safronova T.I. Mathematical modeling in problems of agrophysics / T.I. Safronova, V.I. Stepanov. Ed. KubGau, 2012. 110 p.

10. Zatinatsky S.V. Validation models in technical regulation (on the example of resource-saving models of water consumption) / T.A. Pankova E.Yu. Shmagina, A.V. Kochetkov // Naukovedenie. 2014.No. 5 [Electronic resource] identification number of the article in the journal – 27TVN514.

11. Kravchuk A.V. Soil moisture parameters in carrying out ecological regimes of crop irrigation / V.V. Korsak, I.R. Kudaibergenova // Bulletin of the Scientific and Methodological Council for Nature Management and Water Use. 2018. No. 11. P. 126-130.

12. Zeyliger A. Results of the analysis of water stress regimes for irrigated crops based on remote sensing data / O. Ermolaeva, D. Antonov, F. Serebrennikov, and others // Advances in Science, Technology and Innovation. 2022. P. 319-322.

Criteria of authorship

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

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 03.02.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted for publication 21.03.2023

Оригинальная статья

УДК 631.6:627.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-36-42



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ НА ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И КАЧЕСТВО ВОДНОЙ СРЕДЫ НА ВОДОСБОРНОМ БАССЕЙНЕ

Карпенко Нина Петровна^{1✉}, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник

SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; npkarpenko@yandex.ru

Глазунова Ирина Викторовна^{1,2}, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

AuthorID: 127917; ivglazunova@mail.ru

Редников Сергей Николаевич², канд. техн. наук, доцент

AuthorID: 119444; srednikov@mail.ru

¹ Российский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, корп. 28, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценка влияния лесомелиоративных насаждений на обоснование развития гидромелиораций и водные ресурсы для речного бассейна в Нижегородской области. Выполнена оценка влияния облесения территории на обоснование развития гидромелиораций на водосборах рек Нижегородской области с применением биоклиматического метода В.В. Шабанова при различных сценариях изменения агроклиматических ресурсов. При разработке сценария изменения агроклиматических характеристик за основу приняты исследования В.В. Докучаева. Составлены прогнозы развития на основе обоснования вероятности необходимости развития гидромелиораций при разных вариантах облесения водосбора. По результатам составления водохозяйственных балансов выполнена оценка возможной экономии водных ресурсов для орошения и влияния облесенности водосбора на количество и качество воды в реке. Произведена оценка эффективности водоохраных мероприятий при разных сценариях развития гидромелиораций и лесомелиораций. По методике Г.А. Харитонова выполнена оценка влияния облесенности водосбора на изменение подземного питания рек. Предложены следующие методы управления: введение водооборотной системы в промышленность; очистка сточных вод; снижение опасности загрязнения от стоков с сельскохозяйственных территорий; экономия воды в орошении.

Ключевые слова: гидромелиорации, лесомелиорации, агроклиматические ресурсы, вероятность необходимости мелиораций, биоклиматический метод, водохозяйственные балансы, водный баланс, водоохраные мероприятия, экономия воды, качество воды

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Редников С.Н. Оценка влияния лесонасаждений на обоснование гидролесомелиоративных мероприятий и качество водной среды на водосборном бассейне // Природообустройство. 2023. № 2. С. 36-42. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-36-42.

© Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Редников С.Н., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF PLANTED FORESTS ON THE RATIONALE FOR HYDROFORESTRY MEASURES AND THE QUALITY OF THE AQUATIC ENVIRONMENT IN THE CATCHMENT AREA

Karpenko Nina Petrovna^{1✉}, doctor of technical sciences, leading researcher

AuthorID: 532745; npkarpenko@yandex.ru

Glazunova Irina Viktorovna^{1,2}, candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor

AuthorID: 127917; ivglazunova@mail.ru

Rednikov Sergey Nikolaevich², candidate of technical sciences, associate professor

AuthorID: 119444; srednikov@mail.ru

¹All-Russian research institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyukov 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya street, 44, bld. 2, Russia

²Russian state agrarian university – Moscow agricultural academy named after K.A. Timiryazev; 127434, street Timiryazevskaya, 49

Annotation. *The purpose of the research is to assess the impact of forest reclamation plantations on the substantiation of the development of hydro meliorations and water resources for the river basin in the Nizhny Novgorod region. An assessment of the impact of afforestation of the territory on the substantiation of the development of hydro melioration on the catchments of the rivers of the Nizhny Novgorod region using the bioclimatic method of V.V. Shabanov under various scenarios of changes in agro climatic resources is carried out. When developing a scenario for changing agro-climatic characteristics, the research of Dokuchaev V.V. was taken as the bases. Development forecasts are based on substantiating the probability of the need for the development of hydro reclamation in different variants of afforestation of the catchment. Based on the results of the compilation of water management balances, an assessment was made of possible savings in water resources for irrigation and the impact of catchment afforestation on the quality of water in the river. An assessment of the effectiveness of water protection measures under different scenarios for the development of hydro reclamations and forest reclamations was carried out. According to the method of Kharitonov G.A., an assessment of the impact of catchment afforestation on the change in the underground supply of rivers was carried out. The following management methods are proposed: introduction of a water circulation system in the industry; wastewater treatment; reducing the risk of pollution from sewage from agricultural areas; water saving in irrigation.*

Keywords: hydro reclamation, forest reclamation, agro climatic resources, probability of the need for land reclamation, bioclimatic method, water management balances, water balance, water protection measures, water saving, water quality

Format of citation: Karpenko N.P., Glazunova I.V., Rednikov S.N. Assessment of the impact of planted forests on the rationale for hydroforestry measures and the quality of the aquatic environment in the catchment area // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 36-42. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-36-42.

Введение. Нижегородская область характеризуется большим количеством малых водосборных бассейнов, для которых ввиду большого количества выпадающих атмосферных осадков и особенностей рельефа характерны проявления эрозионных процессов, вызванных активизацией поверхностного стока, отсутствием растительного покрова и широкое распространение грунтов с высокими геофильтрационными свойствами, особенно в устьях рек, где они достигают наибольшего объема. Целью исследований является обоснование развития гидро- и лесомелиораций на водосборных территориях Нижегородской области, которое представляется актуальной проблемой и позволит решить многие народнохозяйственные и экологические проблемы.

Материалы и методы исследований. Наиболее типичным водосбором рассматриваемой территории является водосбор реки Керженец (левый приток Волги), протяженность которой составляет 290 км, а площадь водосбора – 6140 км². В настоящее время площадь сельхозугодий на рассматриваемой части бассейна реки Керженец составляет 68,97 тыс. га, в том числе площадь пашни – 42,382 тыс. га, сенокосов – 3,104 тыс. га, пастбищ – 18,484 тыс. га. Лесами

на территории бассейна занято 53% территории, что составляет 1923,9 км², жилая застройка занимает 290,4 км², а луга и болота – 653,4 и 72,6 км².

Основное направление растениеводческой продукции – это выращивание зерновых культур, сахарной свеклы, картофеля и овощей. Орошаемые земли занимают 1,035 тыс. га и используются в основном под кормовые культуры и овощи. Осушенные земли занимают 0,966 тыс. га и используются под сенокосы и пастбища. Богара занимает 66,969 тыс. га территории. Зона перехода к меандрам, расположенным севернее, характеризуется как район, умеренно уязвимый, вероятно, ввиду фрагментарности ландшафта, дестабилизирующего экологический баланс. Помимо подчеркнутого уклона, данные элементы окружающей среды обеспечивают наибольшую восприимчивость к эрозии.

Таким образом, на землях малых водосборов Нижегородской области сформировалась высокая подверженность водной эрозии, при которой сельскохозяйственные угодья, имеющие важное значение для региональной и национальной экономики, могут подвергаться неминуемому риску стихийного бедствия такого типа – так же, как и сельское население, и особенно население

поймы, благополучие которого зависит как от наличия воды, так и от сельскохозяйственной деятельности. Ускоренные процессы урбанизации в регионе в последние годы могут усилить эрозию почвы, а ситуация может ухудшиться в сезон дождей на территориях с большей восприимчивостью к осадкам.

В настоящее время в бассейне реки Керженец лесами занято 53% территории, что составляет 1923,9 км². В результате произведенной отделом интенсификации растениеводства организационной и консультационной работы в АПК Нижегородской области удалось достичь определенных положительных результатов. Область обеспечила внутренние потребности в продовольственном и фуражном зерне. Под посев используется не менее 94% кондиционных семян, из которых не менее 14% – семена вышних репродукций. Успешно решаются вопросы снижения себестоимости произведенной продукции, технической модернизации и создания высокотехнологического производства, увеличения объемов агрохимической мелиорации, наращивания объемов производства за счет ввода в оборот ранее не использованных земель, внедрения энергосберегающих технологий и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

В результате рентабельность производства картофеля составила более 50%, а урожайность его достигла уровня 450-600 ц/га и повышения уровня товарности картофеля до 85%. Расширяются площади под овощными культурами, меняются подходы к мелиорации. Приобретение современной техники, создание высокоэффективной системы защиты растений помогают уйти от ручного труда. Так, на территории бассейна реки Керженец площадь, занятая зерновыми, составляет 38,87 тыс. га, занятая овощами – 0,92 тыс. га, картофелем – 4,14 тыс. га, свеклой – 0,45 тыс. га.

В овощеводстве закрытого грунта проводится реконструкция тепличного хозяйства. Создан практически новый комплекс теплиц площадью 8 га, который оснащен новейшими инженерными системами, обеспечивающими технологический режим микроклимата и питания растений с минимальными затратами ресурсов. В регионе активно решаются вопросы увеличения производства сахара собственного производства с 15 до 25% за счет расширения зоны выращивания сахарной свеклы до 200 км от комбината, причем наблюдается увеличение объемов и в льноводстве. Удалось сохранить площади для льна на уровне 2,7 тыс. га. Кроме того, за счет внедрения импортных сортов

льна-долгунца наблюдается увеличение урожайности до 7,7 ц/га (в волокне), что позволило довести объемы производства волокна до 2 тыс. т и улучшить его качественный состав.

В целях повышения эффективности отрасли кормопроизводства в регионе совершенствуется структура кормового поля и делается акцент на увеличении площади под высокопродуктивными, засухоустойчивыми видами бобовых (люцерна, козлятник, донник) и под злаковыми (суданская трава) травами. Расширяются площади кукурузы на зерно и силос.

Объем воды, необходимой для орошения сельскохозяйственных культур, определяется по формуле:

$$W_{\text{ор}} = \frac{M_{\text{ор}} \cdot F_{\text{ор}}}{\eta}, \quad (1)$$

где $M_{\text{ор}}$ – оросительная норма, м³/га ($M_{\text{ор}75\%}$); $F_{\text{ор}}$ – орошаемая площадь, га; $\eta = 0,85$.

Для обоснования необходимости развития дальнейшего сельскохозяйственного производства был выполнен прогноз с использованием статистического метода и уточнением его на основе выполненного баланса агроклиматических ресурсов. Данный метод позволяет на основе ретроспективных данных выявить тенденции развития хозяйства, осуществить экстраполяцию на будущий период. Достоинствами метода являются его простота, наглядность, а также возможность корректировки. В оценке приняты условия стабильного развития экономики и политической обстановки. В связи с проводимой государством политикой, направленной на улучшение демографической ситуации в стране, был выполнен прогноз численности населения на 15 лет вперед по ретроспективным данным с тенденцией прироста 0,38% в год [1].

С целью обеспечения населения бассейна реки Керженец сельскохозяйственными продуктами в соответствии с медицинскими нормами питания необходимо увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, и в первую очередь – на мелиорируемых землях. Для данной территории важными задачами являются обоснование развития гидrolесомелиораций на водосборном бассейне, обзор применяемых технологий и проведение исследований работы водоприемного слоя дренажных труб из различных материалов [2, 3].

За основу расчетов обоснования необходимости развития гидромелиораций были приняты данные о распределении почвенных влагозапасов с использованием модели В.В. Шабанова, в соответствии с чем требования растений

к почвенным влагозапасам рассчитывались по его методике [4]:

$$S_w = \left(\frac{W^*}{W_{opt}^*} \right)^{\gamma_w \cdot W_{opt}^*} \times \left(\frac{1 - W^*}{1 - W_{opt}^*} \right)^{\gamma_w \cdot (1 - W_{opt}^*)}, \quad (2)$$

где

$$S_w = \frac{U}{U_{max}}; \quad (3)$$

S_w – относительная продуктивность растения; U, U_{max} – соответственно фактическая и максимально возможная в конкретных условиях урожайность;

$$W^* = \frac{W - W_{вз}}{W_{пв} - W_{вз}}, \Rightarrow W = W^* \times (W_{пв} - W_{вз}) + W_{вз}; \quad (4)$$

W^* – относительная продуктивная влажность почвы; W – относительная фактическая влажность почвы;

$$\begin{aligned} W_{вз} \leq W \leq W_{пв} \\ 0 \leq W^* \leq 1, \end{aligned} \quad (5)$$

где W_{opt}^* – оптимальное значение продуктивных влагозапасов почвы, при которых урожайность является максимальной; γ_w – параметр, учитывающий саморегуляцию растений к водному режиму почв.

Результаты и их обсуждение. В целях обоснования гидромелиораций для определения диапазонов оптимальной влажности были выполнены расчеты средней за вегетацию продуктивности зерновых от влажности почвы для

отдельно взятого агроклиматического района (табл. 1).

Влияние лесомелиораций на агроклиматические ресурсы местности по В.В. Докучаеву сказывается в изменении следующих агроклиматических характеристик: уменьшение скорости ветра на 30...40%; увеличение накопления снега на 25...30%; понижение температуры воздуха летом на 2...3°C; повышение температуры воздуха зимой на 1...2°C; увеличение годового количества осадков на 80...100 мм. Это вызывает увеличение урожайности зерновых на 14...33% и увеличение емкости пастбищ на 30...40%.

С использованием методики В.В. Шабанова были выполнены расчеты вероятности необходимости гидромелиораций для трех фаз роста и развития растений с учетом облесения водосбора и без его учета (табл. 3).

Данные таблицы показывают, что при создании лесополос в Нижегородской области вероятность оптимальных условий несколько снижается (11%), возрастает вероятность необходимости осушения (19%). Вместе с тем снижается вероятность необходимости орошения (7%), что положительно может сказаться на водохозяйственном балансе, так как водопотребление орошения, а, следовательно, и объемы водозабора снижаются [5, 6].

Таблица 1. Характеристика агроклиматического района

Table 1. Characteristics of the agro climatic region

Показатель увлажнения и тип водного режима почв <i>Moisture index and type of soil water regime</i>	Континентальность климата <i>Climate continentality</i>	Пределы агрогидрологических констант <i>Limits of agro hydrological constants</i>		Запасы продуктивной влаги <i>Reserves of the productive moisture</i>		Глубина, м / <i>Depth, m</i>		
		Весной <i>In spring</i>	Летом <i>In summer</i>	Max весной, мм <i>Max in spring, mm</i>	Min летом, мм <i>Min in summer, mm</i>	Грунтовых вод <i>Ground water</i>		Промачивания (весной) <i>Moisture penetration (in spring)</i>
min	max							
K>1, промывной <i>washing</i>	C _к , У	МКВ-КВ (220...115%)	КВ-ВРК (125...60%)	245...200	150...110	0,2	2,0	Сквозное <i>Through</i>

Примечание: C_k – слабо-континентальный; Y – умеренно-континентальный; МКВ – максимальная капиллярная влажность; КВ – капиллярная влажность; ВРК – влажность разрыва капилляров

Note: C_k – weakly continental; Y – moderately continental; МКВ – maximum capillary humidity; КВ – capillary humidity; ВРК – capillary rupture humidity

Таблица 2. Характеристики использования водных ресурсов в орошаемом земледелии

Table 2. Characteristics of water resources use in irrigated agriculture

Участник водопользования – орошаемое земледелие <i>Water user – irrigated agriculture</i>	Объемы водопотребления, млн м ³ <i>Volumes of water consumption, mln. m³</i>	Объемы возвратных вод, млн м ³ <i>Volumes of return water, mln m³</i>	Объемы необходимого разбавления, млн м ³ <i>Volumes of dilution required, mln m³</i>
Без учета лесомелиораций <i>Excluding forest reclamation</i>	1,34	0,134	1,2
С учетом лесомелиораций <i>Including forest reclamation</i>	1,07	0,094	0,84

На рисунке 1 представлена структура выполненного водохозяйственного баланса реки Керженец с учетом и без учета лесомелиораций.

Анализ графиков показывает, что облесение водосбора способствует экономии воды на 20...30% в годовом разрезе. При учете качества воды в реке по коэффициенту предельной загрязненности выявлено повышение эффективности водоохраных мероприятий на 40...50%. Водоохранные зоны рек играют важнейшую роль в формировании как поверхностного, так и подземного стока рек, влияя на качество и количество воды в реке.

Площадь лесокустарниковых насаждений, необходимых по нормативам и расчетам водорегулирующих полос для бассейна реки, составляет 2% от площади водосбора. Анализ структуры

земельного фонда в рассматриваемых районах показал, что леса занимают около 53,4%, а необходимое увеличение по прогнозам составляет 5% от их существующей площади. В результате обустройства водоохраных зон облесенность водосбора увеличится до 58,4%.

Антропогенная деятельность на водосборной площади приводит к изменению формирования стока, поэтому оказывает косвенное воздействие на объемы речного стока.

Проведена оценка влияния агротехнических мероприятий на изменение годового стока, что позволяет учесть изменение стока реки при водобалансовых расчетах. Величина изменения годового стока определена для следующих условий: расчетная обеспеченность лет по стоку – 95% и 75% для степной зоны при средней глубине

Таблица 3. Вероятность мелиорации и оптимальных условий до ($P^{\text{без ЛМ}}$) и после ($P^{\text{с ЛМ}}$) лесомелиорации для зерновых культур

Table 3. Probability of land reclamation and optimal conditions before ($R^{\text{without FR}}$) and after ($R^{\text{with FR}}$) forest reclamation for cereals

Фазы / Phases		1	2	3	Среднее / Average
Оптимальные условия <i>Optimal conditions</i>	$P^{\text{без ЛМ}}_{\text{opt}}$	22	57	32	37
	$P^{\text{с ЛМ}}_{\text{opt}}$	11		39	32
Осушение / Drainage	$P^{\text{без ЛМ}}$	78	28	0	35
	$P^{\text{с ЛМ}}$	89	46	8	48
Орошение / Irrigation	$P^{\text{без ЛМ}}$	0	15	68	28
	$P^{\text{с ЛМ}}$	0	7	53	20

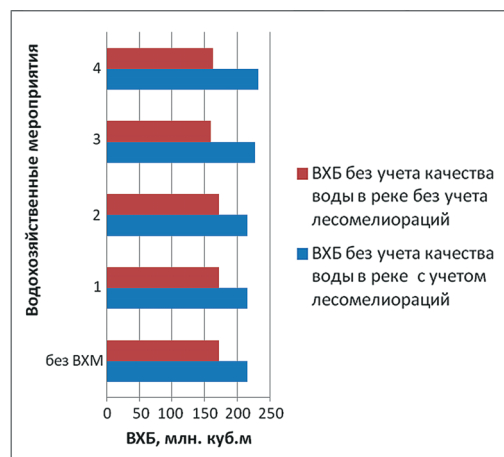
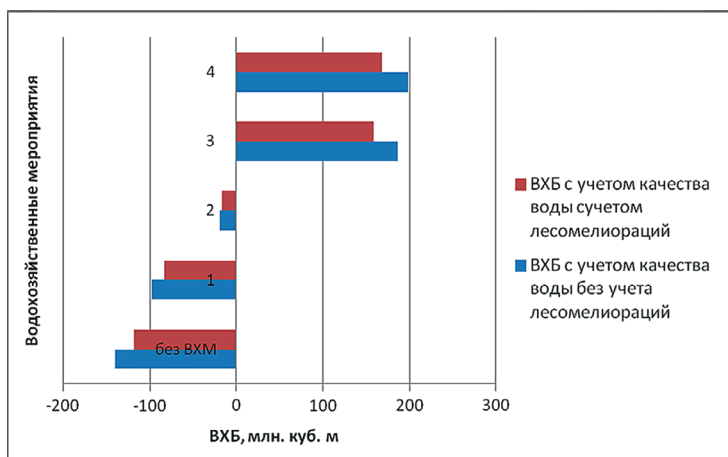


Рис. Результаты расчетов водохозяйственных балансов реки Керженец с учетом и без учета лесомелиораций:

а) водохозяйственные балансы без учета качества воды;

б) учет качества воды по Кпз; б/м – без водохозяйственных мероприятий;

1 – введение водооборотной системы в промышленности; 2 – очистка сточных вод;

3 – снижение опасности загрязнения от стоков с сельскохозяйственных территорий;

4 – экономия воды в орошении

Fig. The results of calculations of water management balances of the Kerzhenets River, taking into account and without taking into account forest reclamations:

(a) Water management balances without regard to water quality;

b) accounting for water quality according to the Cpz; b/m – without water management measures;

1 – introduction of a water circulation system in industry; 2 – wastewater treatment;

3 – reducing the risk of pollution from effluents from agricultural areas; 4 – saving water in irrigation

залегания грунтовых вод более 5 м (20 м), для тяжелосуглинистых почв (краснозем при уклоне водосборной площади в пределах сельскохозяйственных угодий) – 15%, относительной площади сельскохозяйственных угодий (распаханности) – 30,6%.

Представляется возможным увеличить водность рек и водоемов за счет перевода поверхностного стока в подземный почвенно-грунтовый сток [7, 8]. В этом случае уравнение водного баланса для речного бассейна имеет вид:

$$N = A + F + (V + T), \quad (5)$$

где N – количество осадков; A – поверхностный сток; F – подземный сток; V – испарение с поверхности растений и почвы; T – расход воды на транспирацию.

Таким образом, подземный сток будет составлять:

$$F = N - [A + (V + T)]. \quad (5)$$

Количество осадков в среднем составляет 525 мм, при существующем соотношении леса и поля сток составит около 90 мм, то есть

$$F = 525 - [90 + (V + T)]. \quad (6)$$

Суммарный расход влаги ($V + T$) на испарение с поверхности растений, почвы и на транспирацию в лесостепной зоне в лиственных лесах составляет 429 мм; при соотношении лиственных, как груши и яблони (0,65:0,35), суммарный расход влаги составляет 406 мм при осадках 520 мм; с незначительной погрешностью этот показатель может быть взят и при принятых нами осадках (525 мм).

В поле суммарный расход влаги в таких же условиях составляет 381 мм, однако этот показатель вряд ли можно принять, так как сельскохозяйственные культуры на листьях и стеблях удерживают осадков не меньше, чем у лесных пород. Поэтому суммарный расход влаги следует принять не меньше, чем для леса, то есть 406 мм. Редуцируя ($V + T$) на соответствующую площадь леса и поля, получим, что при современном положении в подземный сток поступает только 54 мм воды.

Для снижения антропогенного влияния на водность реки в прогнозах существующая лесистость 53,4% увеличена на 5%. При увеличении лесистости на 5% на межполосных (межлесных) площадях осадков выпадает больше на 4 мм, то есть они будут составлять 554 мм. На всей площади, занятой лесомелиоративными насаждениями, составляющими 5%, количество осадков в лиственных посадках будет на 40 мм больше, чем в поле, то есть 590 мм. Редуцируя количество осадков на всю площадь (облесенную и межлесную), получим в рассматриваемой зоне их 560,12 мм.

При мелиоративной лесистости 17% и при осуществлении необходимых агрономических, простейших гидротехнических и организационных мероприятий указанное количество осадков за вычетом ($V + T$) может быть полностью переведено в подземный сток [9, 10].

Под защитой созданных лесомелиоративных насаждений значительно снижается расход воды сельскохозяйственными растениями: на транспирацию – на 14%, на испарение – на 20%. За счет этого должен снизиться и суммарный расход ($V + T$), но в данных условиях сельскохозяйственные культуры дают более высокий урожай, и расход влаги на дополнительный урожай примерно равновелик ее экономии от сниженной транспирации и испарения, тогда ($V + T$) останется без изменения, то есть 406 мм.

Таким образом, в результате проведения лесомелиоративных мероприятий условия изменятся, и по уравнению получаем, что подземный сток может быть увеличен на 83 мм, то есть на 53%.

Выводы

При оценке влияния лесомелиоративных насаждений на обоснование развития гидромелиораций были выполнены расчеты по обоснованию необходимости развития орошения по биоклиматическому методу В.В. Шабанова путем сравнения требования растений и факторов внешней среды – как без учета лесомелиоративных мероприятий на объекте, так и с их учетом. Расчеты показали, что при лесомелиорации территории водосбора необходимость в орошении снизилась: для овощей – с 29,1 до 14,4%; для зерновых культур – с 20,7 до 3,7%. В связи с этим в дополнение к естественной облесенности, составляющей 53%, предусмотрены водоохранные зоны, обеспечивающие дополнительно 1...3% от существующих лесных массивов (согласно Водному кодексу РФ, а также в соответствии с рекомендациями Г.А. Харитоновой и В.В. Докучаева).

Выполненный водохозяйственный баланс показал, что причиной загрязнения реки являются плохо очищаемые сточные воды, поэтому все методы управления ВХБ направлены на улучшение качества воды в реке. Предложены следующие методы управления: введение водооборотной системы в промышленность; очистка сточных вод; снижение опасности загрязнения от стоков с сельскохозяйственных территорий; экономия воды в орошении.

При оценке влияния облесения водосбора на обоснование развития гидромелиораций на водосборах Нижегородской области были рассмотрены мероприятия по улучшению

качества водных ресурсов бассейна реки Керженец. Облесение водосбора способствует экономии воды на орошение на 20-30% в годовом разрезе. При учете качества воды в реке по коэффициенту предельной загрязненности выявлено

повышение эффективности водоохраных мероприятий на 40-50% в результате облесенности водосбора. В результате проведения лесомелиоративных мероприятий подземное питание рек может быть увеличено на 53%.

Список использованных источников

1. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций: монография. М.: Гидрометеоздат, 1973. 165 с. EDN TZRBED.
2. Сметанин В.И. Рекультивация земель: обзор технологий // Экология и промышленность России. 2004. № 5. С. 42-45. EDN WNSBTL.
3. Сметанин В.И., Хохлов В.И. Исследования работы водоприемного слоя дренажных труб из волокнисто-пористых полимерных материалов // Природообустройство. 2012. № 5. С. 17-22. EDN PJQDVF.
4. Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Глазунова И.В. Особенности методологии комплексного водопользования: Монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 140 с.
5. Карпенко Н.П., Глазунова И.В. Организация работ при эксплуатации и восстановлении водных объектов г. Москвы // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий: Сборник материалов Международной юбилейной научно-практической конференции. М.: ВНИИГиМ, 2019. С. 95-100.
6. Карпенко Н.П., Глазунова И.В. Управление земельными и водными ресурсами для снижения загрязнения рек на основе экспертных оценок эффективности природоохранных мероприятий // Природообустройство. 2019. № 4. С. 102-108.
7. Glazunova I.V., Karpenko N.P. Analysis of the reclamation measures efficiency within watershed and their impact on the water bodies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 9, Orenburg, 7-11 июня 2021 г. Orenburg, 2021. P. 012035. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012035. EDN KIDVRG.
8. Рациональное водопользование: учебное пособие / И.В. Глазунова, В.Н. Маркин, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович. Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2022. 136 с.
9. Глазунова И.В., Воронина К.П., Барсукова М.В. Исследование эффективности водоохраных мероприятий в условиях интенсивной антропогенной нагрузки на реку Яузу // Природообустройство. 2018. № 3. С. 40-46.
10. Найгерт К.В., Редников С.Н. Технологии управления расходными характеристиками потока посредством изменения реологических свойств рабочих сред // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». 2016. Т. 16, № 2. С. 52-60. DOI 10.14529/engin160206. EDN WBOWFF.

Критерии авторства

Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Редников С.Н. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 23.01.2023

Одобрена после рецензирования 28.02.2023

Принята к публикации 03.03.2023

References

1. Shabanov V.V. Bioclimatic justification of land reclamation: monograph. Moscow: Hydrometeorizdat, 1973. 165 p. – EDN TZRBED.
2. Smetanin V.I. Land recultivation: a review of technologies / V.I. Smetanin // Ecology and industry of Russia. 2004. No. 5. P. 42-45. – EDN WNSBTL.
3. Smetanin V.I. Studies of the operation of the water intake layer of drainage pipes made of fibrous-porous polymer materials / V.I. Smetanin, V.I. Khokhlov // Nature management. 2012. No. 5. P. 17-22. – EDN PJQDVF.
4. Markin V.N., Ratkovich L.D., Glazunova I.V. Features of the methodology of integrated water resources management: monograph. M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2016. 140 s.
5. Karpenko N.P., Glazunova I.V. Organization of works in the operation and restoration of water bodies in Moscow // Problems of development of agricultural land reclamation and water management complex on the basis of digital technologies: sb. materials of international jubilee scientific-prac. conf.. M.: VNIIGiM, 2019. S. 95-100.
6. Karpenko N.P., Glazunova I.V. Management of land and water resources to reduce pollution of rivers on the basis of expert assessments of the effectiveness of environmental measures // Prirodoobustroystvo. 2019. № 4. S. 102-108.
7. Glazunova I.V. Analysis of the reclamation measures efficiency within watershed and their impact on the water bodies / I.V. Glazunova, N.P. Karpenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 9, Orenburg, 7-11 июня 2021 г. Orenburg, 2021. P. 012035. – DOI 10.1088/1755-1315/817/1/012035. – EDN KIDVRG.
8. Rational water use: a textbook / I.V. Glazunova, V.N. Markin, S.A. Sokolova, L.D. Ratkovich. Kursk: Publishing house ZAO «Universitetskaya kniga», 2022. 136 s.
9. Glazunova I.V., Voronina K.P., Barsukova M.V. Study of the effectiveness of water protection measures in the conditions of intensive anthropogenic load on the Yauza River // Prirodovobrazvo. 2018. № 3. S. 40-46.
10. Nygert K.V. Technologies for controlling flow characteristics by changing the rheological properties of working media / K.V. Nygert, S.N. Rednikov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering. – 2016. Vol. 16, No. 2. pp. 52-60. – DOI 10.14529/engin160206. – EDN WBOWFF.

Criteria for authorship

Karpenko N.P., Glazunova I.V., Rednikov S.N. performed theoretical studies, on the basis of which they made a generalization and wrote the manuscript. They have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of Interest.

The authors state that there is no conflict of interest.

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

The article was received in the editorial office 23.01.2023

Approved after review 28.02.2023

Accepted for publication 03.03.2023

Оригинальная статья

УДК 631.4:633.34

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-43-51



ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КОРМОВУЮ ЦЕННОСТЬ ЗЕРНА СОИ ПРИ СИМБИОТРОФНОМ И АВТОТРОФНОМ ТИПАХ ПИТАНИЯ АЗОТОМ

Бельшикина Марина Евгеньевна^{1✉}, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник

ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; vimsoya@yandex.ru

Кобозева Тамара Петровна¹, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник

Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

Загоруйко Михаил Геннадьевич¹, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

Ананьева Татьяна Васильевна¹, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

ORCID: 0000-0002-5047-7865, Scopus ID: 57202640980, РИНЦ AuthorID: 696227; ananekatv7@yandex.ru

Попова Наталья Павловна², канд. с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник

РИНЦ AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

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

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

Аннотация. Представлены результаты многолетних исследований по влиянию влагообеспеченности посевов на урожайность, кормовую ценность, белковую и масличную продуктивность у сортов сои северного экотипа (Магева, Окская и Светлая). Установлено, что в условиях Центрального Нечерноземья сорта сои северного экотипа обеспечивают максимальную урожайность 3,05 т/га; содержание белка 43,51%; содержание жира 20,67%; сбор белка 1322 кг/га; сбор незаменимых аминокислот 833 кг/га; сбор жира 531 кг/га; сбор кормовых единиц 4118 кг/га. В годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью предпосевная инокуляция семян активным штаммом 6056 *Rhizobium japonicum* существенно повышает продуктивность сои: урожайность – на 0,21-0,25 т/га; содержание белка в семенах – на 2,11-3,35%; жира – на 0,33-0,57%; сбор белка с урожаем – на 125-176 кг/га; сбор жира – на 43-72 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – на 84-111 кг/га, в том числе лизина – на 7-8 кг; сбор ненасыщенных жирных кислот – на 29-37 кг/га; сбор кормовых единиц – на 305-348 кг/га. Установлено, что 82-98% азота от максимального его потребления усваивается агроценозом из воздуха за счет симбиотической азотфиксации.

Ключевые слова: соя, северный экотип, урожайность, кормовые единицы, биологическая азотфиксация, инокуляция, бобово-ризобияльный симбиоз, белок, жир, незаменимые аминокислоты, ненасыщенные жирные кислоты

Формат цитирования: Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность зерна сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом // Природообустройство. 2023. № 2. С. 43-51. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-43-51.

© Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П., 2023

Scientific article

INFLUENCE OF MOISTURE SUPPLY CONDITIONS ON THE YIELD AND FEED VALUE OF SOYBEAN GRAIN IN SYMBIOTROPIC AND AUTOTROPHIC TYPES OF NITROGEN NUTRITION

Belyshkina Marina Evgenievna^{1✉}, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher

ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; vimsoya@yandex.ru

Kobozeva Tamara Petrovna¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher

Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

Zagoruiko Mikhail Gennadievich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher

ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, PIИИ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

Ananyeva Tatiana Vasilyevna¹, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

ORCID: 0000-0002-5047-7865, Scopus ID: 57202640980, PIИИ AuthorID: 696227; ananevatv7@yandex.ru

Popova Natalia Pavlovna², Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher

PIИИ AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia

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

Annotation. The results of long-term studies on the effect of moisture availability of crops on yield, feed value, protein and oilseed productivity in soybean varieties of the northern ecotype (Mageva, Okskaya and Svetlaya) are presented. It was found that in the conditions of the Central Non-Chernozem region, soybean varieties of the northern ecotype provide maximum yield – 3.05 t/ha; protein content – 43.51%; fat content – 20.67%; protein collection – 1322 kg/ha; collection of essential amino acids – 833 kg/ha; fat collection – 531 kg/ha; collection of feed units – 4118 kg/ha. In years with excessive and optimal moisture supply, pre-sowing inoculation of seeds with the active strain 605b *Rhizobium japonicum* significantly increases soybean productivity: yield – by 0.21-0.25 t/ha; protein content in seeds – by 2.11-3.35%; fat – by 0.33-0.57%; protein harvest – by 125-176 kg/ha; fat collection – by 43-72 kg/ha; collection of essential amino acids – by 84-111 kg/ha, including lysine – by 7-8 kg; collection of unsaturated fatty acids by 29-37 kg/ha; collection of feed units – by 305-348 kg/ha. It was found that 82-98% of nitrogen from its maximum consumption is absorbed by the agro enosis from the air due to symbiotic nitrogen fixation.

Keywords: soy, northern ecotype, yield, feed units, biological nitrogen fixation, inoculation, legume-rhizobial symbiosis, protein, fat, essential amino acids, unsaturated fatty acids

Format of citation: Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zagoruiko M.G., Ananyeva T.V., Popova N.P. Influence of moisture supply conditions on the yield and feed value of soybean grain in symbiotrophic and autotrophic types of nitrogen nutrition // Природообустройство. 2023. No. 2. S. 43-51. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-43-51.

Введение. В настоящее время ресурсосбережение и экологизация сельскохозяйственного производства предусматривают поиск и научные разработки новых подходов к составлению севооборотов, активной доработке недостатков предыдущих стратегий природопользования. Одним из наиболее масштабных направлений в этом отношении является решение вопросов обеспечения отечественными кормами за счет внедрения перспективных сортов и гибридов кормовых растений, в том числе бобовых. В последнее время наряду с традиционными бобовыми культурами появилась возможность для интродукции сои в севообороты Центрального Нечерноземья [1]. Успехи российских селекционеров и генетиков в последние три десятилетия позволили создать сорта сои северного экотипа, существенно продвинув ее на север (до 56° северной широты), увеличив площадь возделывания в России с 500 тыс. га (1990 г.) до 3,5 млн га (2022 г.), повысив при этом валовой сбор зерна до 5,4 млн т, урожайность – до 1,8 т/га; сбор белка – до 2,5 млн т, жира – до 1,2 млн т [2].

Актуальность изучения широкой интродукции сортов сои северного экотипа в более северные районы Нечерноземной зоны перспективна и вполне оправдана благодаря менее выраженной реакцией фотопериодизма по сравнению с традиционными сортами, что обеспечивает созревание этих сортов за 100-120 дней, уменьшая тем самым риски потерь урожая от неблагоприятных погодных условий осеннего периода [3, 4]. При этом одновременно учитываются вопросы эффективного природопользования и энергосбережения (за счет симбиотической фиксации азота), повышения почвенного плодородия, а также обеспечивается полноценная смена культур в севообороте [5, 6].

Общеизвестно, что в новых районах соеосаждения в почвах нет специфичной для сои аборигенной азотфиксирующей микрофлоры, и бобово-ризобийный симбиоз отсутствует [3, 7, 8]. В этой связи искусственная инокуляция семян специфичным, вирулентным, активным штаммом клубеньковых бактерий остается важным и неотъемлемым агротехническим приемом повышения биологической азотфиксации, и как

следствие – урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности зерна в нетрадиционных районах соесояния [3, 7, 9]. А.А. Завалин [5, 8] отмечает, что эффективное использование биологического азота, накопленного в почве как за счет симбиотической азотфиксации, так и благодаря богатым азотом растительным остаткам бобовой культуры, происходит в севообороте в течение 4 лет. Коэффициент использования биологического азота составляет от 25 до 40% [10], однако конечная величина накопленного азота определяется прежде всего вегетационными условиями, агротехникой и сортовыми особенностями культуры.

Многочисленными исследованиями [3, 11, 12] установлена тесная связь между условиями произрастания посевов – такими, как питательный и температурный режим, влагообеспеченность растений, особенно в критические фазы развития, с величиной и активностью симбиотического аппарата. Именно совокупное действие данных факторов во многом предопределяет возможность успешного выращивания сои, а также величину фиксированного азота, участвующего в формировании урожая самой сои и последующих культур севооборота. Известно, что симбиотическая фиксация азота воздуха, осуществляемая на корнях бобовых культур, усиливает атрагирование углеводов из листьев и значительно повышает интенсивность фотосинтеза. Между величиной и активностью симбиотического аппарата, уровнем урожая и его качеством существует тесная прямая корреляция [12].

Целью исследований явилось изучение влияния влагообеспеченности посевов сои северного экотипа на урожайность и кормовую ценность зерна при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом в условиях Центрального Нечерноземья.

Материалы и методы исследований. Изучение биологической азотфиксации в условиях естественной влагообеспеченности посевов сои проводили на опытном поле ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (2008-2020 гг.) на районированных ультраскороспелых сортах северного экотипа (Магева, Светлая, Окская, совместной селекции ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» в девятипольном севообороте (предшественник сои – кормовая свекла) на дерново-подзолистых среднесуглинистых слабокислых ($pH_{\text{кол.}} - 6,6$ ед.)

почвах, среднеобеспеченных по основным показателям минерального питания. Закладка опытов и обработка результатов осуществлялись в соответствии со стандартными апробированными методиками: фенологические наблюдения проводили методом учетных площадок, учет биологического урожая осуществляли в фазе полного созревания семян методом отбора пробных снопов с 1 м^2 [13]. Инокуляцию семян проводили непосредственно перед посевом бактериальным препаратом ризоторфин, созданным на основе комплиментарного штамма клубеньковых бактерий 6356 *Rhizobium japonicum*.

Гидротермический коэффициент рассчитывался по формуле:

$$\text{ГТК} = \sum_p / 0,1 \sum T_{\text{акт.}}$$

где $\sum_p$ – сумма осадков за период вегетации; $\sum T_{\text{акт.}}$ – сумма активных температур за период вегетации.

В зависимости от величины гидротермического коэффициента в критический период водопотребления у сои (ГТК по Г.С. Селянинову) годы исследований были подразделены на три группы: годы с избыточной (ГТК 1,2-1,7), оптимальной (ГТК 0,9-1,1) и недостаточной (ГТК 0,6-0,8) влагообеспеченностью. Термообеспеченность посевов колебалась от 1700°C до 2100°C , что обеспечило созревание посевов во все годы исследований.

Химический анализ семян выполнялся во Всероссийском научно-исследовательском институте сои (г. Благовещенск) на установке NIR-42.

Результаты и их обсуждение. Наблюдения за развитием симбиотического аппарата сои показали, что клубеньки на ее корнях формируются к фазе 3-го тройчатого листа, то есть на 15-18 дни после появления всходов. На 3-4 дни в них появляется левоглобин, наличие которого означает начало азотфиксации. По мере роста и развития растений число и масса клубеньков на корнях увеличиваются, достигая максимума к фазе налива бобов. При нормальной влагообеспеченности симбиотический аппарат на корнях представлен довольно крупными клубеньками (выростами округлой формы), дисперсно расположенными на корневой системе (рис.) в верхнем (10-12 см), хорошо аэрируемом слое почвы. При переходе растений в генеративную фазу происходит перераспределение фотоассимилятов в пользу генеративных органов, и рост симбиотического аппарата замедляется, концентрация левоглобина уменьшается, клубеньки постепенно начинают отмирать. К фазе полной спелости наблюдается их полный лизис.



Рис. Симбиотический аппарат на корнях сои при проведении инокуляции

Fig. Symbiotic apparatus on soybean roots during inoculation

Процесс азотфиксации является энергоемким, то есть для ассимиляции 1 мг азота аэробным микроорганизмам требуется около 500 мг сахарозы. По этой причине процессы азотфиксации и фотосинтеза взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Величину симбиотического аппарата принято выражать через общий (ОСП) или активный (АСП) симбиотический потенциал – производство средней за вегетационный период сырой массы (всех или активных) клубеньков с 1 га посева на продолжительность их функционирования в днях. Интенсивность процесса рассчитывают

по удельной активности симбиоза (УАС), то есть по количеству азота (в граммах), фиксированного из воздуха за сутки 1 кг сырых активных клубеньков.

В условиях оптимальной влагообеспеченности легоглобин сохраняется в клубеньках практически до начала созревания, и общий симбиотический потенциал (ОСП) мало отличается от активного. При дефиците влаги наблюдается снижение активности симбиоза. Клубеньки становятся меньше, их число сокращается, в них снижается концентрация легоглобина, раньше наступает их лизис, уменьшается ОСП, в еще большей степени – АСП и УАС. В итоге величина азотфиксации сокращается более чем в 3 раза, снижаются урожайность и его качество (табл. 1, 2).

При избыточной влагообеспеченности наблюдается тенденция снижения показателей фотосинтетической и симбиотической деятельности посева, следствием чего становится достоверное снижение урожайности, однако не такое значительное, как при остром дефиците влаги.

В результате исследований нами установлено, что количество симбиотически фиксированного азота в значительной мере зависит от влагообеспеченности посевов. По данным исследований, в условиях оптимальной влагообеспеченности агроценоза соя усваивает в среднем по сортам

Таблица 1. Показатели симбиотической деятельности посевов сои северного экотипа (в среднем по сортам Магева, Окская, Светлая) в разные по влагообеспеченности годы при симбиотрофном типе питания азотом

Table 1. Indicators of symbiotic activity of soybean crops of the northern ecotype (on average for varieties Mageva, Okskaya, Svetlaya) in years of different moisture availability with a symbiotrophic type of nitrogen nutrition

Показатель <i>Indicator</i>	Влагообеспеченность / <i>Moisture availability</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>
	Избыточная <i>Excess</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>	
Сырая масса клубеньков всего, кг/га <i>Raw mass of nodules total, kg / ha</i>	647	886	613	715
Сырая масса активных клубеньков, кг/га <i>Raw mass of active nodules, kg / ha</i>	421	566	239	409
ОСП, кг × дней/га / <i>OSP, kg × days / ha</i>	39343	40404	27640	30267
АСП, кг × дней/га / <i>ASP, kg × days / ha</i>	19750	22576	11056	17794
Максимальное потребление азота, кг/га <i>Maximal consumption of nitrogen, kg / ha</i>	203	215	182	200
УАС, г × сутки/кг активных клубеньков <i>SSA, g × day / kg of active nodules</i>	9,2	9,8	5,4	8,1
Симбиотически фиксированный азот, кг/га <i>Symbiotically fixed nitrogen, kg / ha</i>	166	212	62	146
Доля симбиотически фиксированного азота от максимального потребления, % <i>Share of symbiotically fixed nitrogen from the maximal consumption, %</i>	81	98	34	73

Таблица 2. Показатели фотосинтетической деятельности посевов сои северного экотипа (в среднем по сортам Магева, Окская, Светлая) в разные по влагообеспеченности годы при симбиотрофном типе питания азотом

Table 2. Indicators of photosynthetic activity of soybean crops of the northern ecotype (on average for varieties Mageva, Okskaya, Svetlaya) in years of different moisture availability with a symbiotrophic type of nitrogen nutrition

Показатели <i>Indicators</i>	Влагообеспеченность / <i>Moisture availability</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>
	Избыточная <i>Excess</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>	
Максимальная площадь листьев, м ² /га <i>Maximum leaf area, m² / ha</i>	32719	38560	25967	32415
Максимальное накопление абсолютно сухой массы, кг/га <i>Maximum accumulation of absolutely dry mass, kg / ha</i>	6920	7425	6029	6791
ФСП, тыс. м ² × дней/га / PSP, thousand m ² × days / ha	1861	1950	1850	1887
Чистая продуктивность фотосинтеза, г × сутки/м ² <i>Photosynthesis net productivity, g × day/ m²</i>	3,60	3,71	3,18	3,49
Урожайность семян, т/га / <i>Seed yield, t / ha</i>	2,55	2,77	1,50	2,27

212 кг/га симбиотически фиксированного азота, то есть 98% от максимального его потребления; при избыточной влагообеспеченности – 166, или на 46 кг/га меньше; при недостаточной – 62 кг/га, или в 3,41 раза меньше. При этом доля симбиотически фиксированного азота в общем его потреблении составляет в первом случае 98%, во втором – 81%, при дефиците влаги – 34%, в среднем по опыту – 73%.

При достаточной влагообеспеченности максимальные показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности посевов совпадают (табл. 2).

Низкая влагообеспеченность посевов существенно замедляет активность и продолжительность функционирования симбиотического и фотосинтетического аппаратов сои, что наиболее заметно на инокулированных посевах. Так, урожайность в вариантах без инокуляции в годы с низкой влагообеспеченностью по сравнению с оптимальными условиями снижалась в 1,6 раза, с инокуляцией – в 1,8 раза; сбор белка – соответственно в 1,80 и 1,95 раза; сбор незаменимых аминокислот – в 1,80 и 1,96; лизина – в 1,80 и 1,90; сбор жира – в 1,67 и 1,71; сбор ненасыщенных жирных кислот – в 1,59 и 1,71, а сбор кормовых единиц – в 1,70 и 1,91 раза соответственно.

Согласно исследованиям инокуляция семян достоверно (на 0,21-0,25 т/га) повысила урожайность сои в годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью. При этом увеличивалось содержание белка в семенах (на 2,11-3,35%), сбор белка с урожаем (на 125-176 кг/га), возрастал сбор незаменимых аминокислот (на 84-111 кг/га), в том числе

лизина (на 7-8 кг), повышался сбор кормовых единиц (на 305-348 кг/га) (табл. 3).

Инокуляция семян также обеспечивает повышение содержания жира в семенах на 0,33-0,57% и способствует увеличению массовой продуктивности в среднем по сортам на 43-72 кг/га (табл. 4).

Очевидно, при недостаточной влагообеспеченности наблюдается конкуренция за ассимилянты между симбиотическим и ассимиляционным аппаратами сои, что приводит к снижению урожайности и его качества. Однако следует обратить внимание на факт высокой засухоустойчивости сои. Даже в годы с недостаточной влагообеспеченностью урожай семян составил в среднем по сортам 1,44-1,50 т/га; сбор белка с урожаем – 563-602 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – 354-379 кг/га, что эквивалентно урожаю зерновых около 4,00 т/га без учета качества белка. При этом сбор жира был на уровне 287-306 кг/га, сбор ненасыщенных жирных кислот – 169-177 кг/га, сбор кормовых единиц – 2088-2175 кг/га. При этом отмечена тенденция более высоких показателей продуктивности у инокулированных вариантов.

В ходе исследований установлено, что изучаемые сорта обладают неодинаковой адаптационной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. Как наиболее стрессоустойчивый и стабильный по показателям урожайности и его качества, нами отмечен сорт Светлая: его максимальная урожайность составила 3,04 т/га, содержание белка в семенах – 43,51%. Существенно уступают сорт Окская (урожайность – 2,76 т/га, содержание белка – 39,14%) и сорт Магева (урожайность – 2,52 т/га, содержание белка – 39,55%).

Таблица 3. Урожайность и белковая продуктивность сортов сои северного экотипа при симбиотрофном (в числителе) и автотрофном (в знаменателе) типах питания азотом в разные по влагообеспеченности годы

Table 3. Yield and protein productivity of soybean varieties of the northern ecotype with symbiotrophic (in the numerator) and autotrophic (in the denominator) types of nitrogen nutrition in years of different moisture availability

Влагообеспеченность <i>Moisture availability</i>	Сорт / <i>Variety</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>	НСР ₀₅
	Марева / <i>Mareva</i>	Окская / <i>Okskaya</i>	Светлая / <i>Svetlaya</i>		
Урожайность, т/га / <i>Yield, t / ha</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	<u>2,31</u> 2,10	<u>2,51</u> 2,35	<u>2,84</u> 2,58	<u>2,55</u> 2,34	0,14
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>2,52</u> 2,28	<u>2,76</u> 2,53	3,04 2,78	<u>2,77</u> 2,53	0,16
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>1,67</u> 1,60	<u>1,50</u> 1,45	<u>1,35</u> 1,29	<u>1,50</u> 1,44	0,10
В среднем по годам <i>Average per years</i>	<u>2,16</u> 1,99	<u>2,25</u> 2,11	<u>2,41</u> 2,21	<u>2,27</u> 2,10	0,13
Содержание белка в семенах, % от абсолютно сухого вещества <i>Protein content in seeds, % from the absolutely dry substance</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	40,51 38,49	39,20 37,20	41,44 39,12	<u>40,38</u> <u>38,27</u>	2,42
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>42,64</u> 39,55	<u>41,64</u> 39,14	<u>43,51</u> 40,31	<u>42,59</u> 39,66	2,56
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>39,33</u> 38,95	<u>39,85</u> 39,00	<u>41,12</u> 39,42	<u>40,10</u> 39,12	2,41
В среднем по годам <i>Average per years</i>	40,82 38,99	40,23 38,44	42,02 39,61	<u>41,02</u> <u>39,02</u>	2,46
Сбор белка с урожаем семян, кг/га / <i>Protein collection with the seed yield, kg / ha</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	935 808	984 874	1177 1009	<u>1029</u> <u>896</u>	62
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>1074</u> 901	1149 990	1322 1120	<u>1179</u> <u>1003</u>	71
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>661</u> 623	598 565	555 508	<u>602</u> <u>563</u>	36
В среднем по годам <i>Average per years</i>	882 775	910 811	1012 875	<u>931</u> <u>820</u>	56
Сбор незаменимых аминокислот с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of essential amino acids with the seeds yield, kg / ha</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	<u>589</u> 509	<u>619</u> 551	742 636	<u>648</u> 564	39
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>677</u> 568	<u>723</u> 624	<u>833</u> 706	<u>743</u> 632	45
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>416</u> 392	<u>377</u> 356	<u>350</u> 320	<u>379</u> 354	23
В среднем по годам <i>Average per years</i>	<u>556</u> 488	<u>573</u> 511	638 551	<u>586</u> 517	36
Сбор лизина с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of lysine with the seeds yield, kg / ha</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	<u>47</u> 40	<u>50</u> 44	<u>59</u> 51	<u>52</u> 45	3,1
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>54</u> 45	<u>58</u> 50	<u>67</u> 56	<u>59</u> 51	3,5
Недостаточная <i>Insufficient</i>	33 31	30 28	28 26	<u>30</u> <u>28</u>	1,8
В среднем по годам <i>Average per years</i>	<u>44</u> 39	<u>46</u> 41	<u>51</u> 44	<u>47</u> 41	2,8

Таблица 4. Содержание и сбор жира с урожаем семян сортов северного экотипа при симбиотрофном (в числителе) и автотрофном (в знаменателе) типах питания азотом в разные по влагообеспеченности годы

Table 4. The content and collection of fat with the harvest of seeds of varieties of the northern ecotype with symbiotrophic (in the numerator) and autotrophic (in the denominator) types of nitrogen nutrition in years of different moisture availability

Влагообеспеченность <i>Moisture availability</i>	Сорт / <i>Variety</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>	НСР ₀₅
	Марева / <i>Mareva</i>	Окская / <i>Okskaya</i>	Светлая / <i>Svetlaya</i>		
Содержание жира в семенах, % от абсолютно сухого вещества / <i>Fat content in seeds, % from the absolutely dry substance</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	<u>20,47</u> 19,91	<u>20,11</u> 19,98	<u>18,68</u> 18,37	<u>19,75</u> 19,42	1,19
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>18,90</u> 18,01	<u>19,83</u> 19,01	<u>18,09</u> 18,00	<u>18,91</u> 18,34	1,13
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>20,05</u> 19,99	<u>20,46</u> 19,95	<u>20,07</u> 19,95	<u>20,39</u> 19,96	1,22
В среднем по годам <i>Average per years</i>	<u>19,80</u> 19,30	<u>20,13</u> 19,64	<u>19,12</u> 18,77	<u>19,68</u> 19,24	1,18
Сбор жира с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of fat with the seeds yield, kg / ha</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	<u>473</u> 418	<u>505</u> 470	<u>531</u> 474	<u>504</u> 454	30
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>476</u> 411	<u>547</u> 489	<u>548</u> 500	<u>524</u> 464	31
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>335</u> 320	<u>307</u> 289	<u>269</u> 257	<u>306</u> 287	18
В среднем по годам <i>Average per years</i>	<u>428</u> 384	<u>453</u> 414	<u>461</u> 415	<u>447</u> 404	27
Сбор ненасыщенных жирных кислот с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of unsaturated fatty acids with seed yield, kg / ha</i>					
Избыточная <i>Excess</i>	<u>274</u> 242	<u>292</u> 272	<u>308</u> 274	<u>292</u> 263	18
Оптимальная <i>Optimal</i>	<u>276</u> 238	<u>317</u> 283	<u>318</u> 290	<u>303</u> 269	18
Недостаточная <i>Insufficient</i>	<u>194</u> 186	<u>178</u> 168	<u>156</u> 149	<u>177</u> 169	11
В среднем по годам <i>Average per years</i>	<u>248</u> 223	<u>262</u> 241	<u>267</u> 241	<u>259</u> 234	16

Таким образом, эффективность инокуляции определяется в наибольшей степени влагообеспеченностью в критические периоды развития посевов (фаза цветения-плодообразования). Этот прием увеличивает продолжительность вегетации изучаемых сортов до 5 дней при нормальной влагообеспеченности и до 12 дней при избыточном увлажнении. Предпосевная инокуляция семян активным штаммом 6056 *Rhizobium japonicum* (Kirchner, 1896) повышает урожайность семян на 10-13%, сбор белка с урожаем семян – на 12-15% за счет повышения урожайности и увеличения содержания белка.

При оптимальной влагообеспеченности сбор кормовых единиц с урожаем сои составляет: при автотрофном типе питания азотом – 3669 кг/га, при симбиотрофном – 4017 кг/га; достоверная прибавка от инокуляции

составляет 305-348 кг/га, при недостатке влаги – 87 кг/га (табл. 5).

Таким образом, предпосевная инокуляция семян является важным агротехническим приемом повышения продуктивности и кормовой ценности сои в Нечерноземной зоне России при возделывании ее в новых районах соеосаждения, расширяя возможности применения ресурсосберегающих технологий и экологизации сельскохозяйственного производства. Однако учитывая затраты влаги на формирование и работу симбиотического аппарата, следует отказаться от применения инокуляции в районах с повышенной вероятностью возникновения почвенной или атмосферной засух либо предусмотреть возможность поливов до поддержания влажности почвы на уровне 70-80% ППВ в критические периоды развития растений [14].

Таблица 5. Кормовая ценность (сбор кормовых единиц) зерна сои сортов северного экотипа при симбиотрофном (в числителе) и автотрофном (в знаменателе) типах питания азотом в разные по влагообеспеченности годы, кг/га

Table 5. Feed value (collection of feed units) of soybean grains of northern ecotype varieties with symbiotrophic (in the numerator) and autotrophic (in the denominator) types of nitrogen nutrition in years of different moisture availability, kg/ha

Влагообеспеченность <i>Moisture availability</i>	Сорт / <i>Variety</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>	НСР ₀₅
	Марева / <i>Mareva</i>	Окская / <i>Okskaya</i>	Светлая / <i>Svetlaya</i>		
Избыточная <i>Excess</i>	3350 3045	3640 3448	4118 3741	3698 3393	222
Оптимальная <i>Optimal</i>	3654 3306	4002 3669	4408 4031	4017 3669	241
Недостаточная <i>Insufficient</i>	2422 2320	2175 2103	1958 1870	2175 2088	131
В среднем по годам <i>Average per years</i>	3132 2871	3263 3606	3495 3205	3292 3045	198

Выводы

1. В условиях Центрального Нечерноземья сорта сои северного экотипа обеспечивают максимальную урожайность – 3,05 т/га; содержание белка – 43,51%, жира – 20,67%; сбор белка – 1322 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – 833 кг/га; сбор жира – 531 кг/га; сбор кормовых единиц – 4118 кг/га.

3. В условиях оптимальной влагообеспеченности агроценоз сои усваивает в среднем по сортам 212 кг/га симбиотически фиксированного азота (98% от максимального потребления), при избыточной влагообеспеченности – 166 кг/га (81%), при недостаточной – 62 кг/га (34%), или в 3,41 раза меньше; в среднем по опыту – 146 кг/га (73%).

4. В годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью инокуляция семян

существенно повышает показатели продуктивности сортов: урожайность – на 0,21-0,25 т/га; содержание белка в семенах – на 2,11-3,35%; сбор белка с урожаем – на 125-176 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – на 84-111 кг/га, в том числе лизина – на 7-8 кг/га; содержание жира в семенах – на 0,33-0,57%; сбор жира с урожаем семян – на 43-72 кг/га; сбор ненасыщенных жирных кислот – на 29-37 кг/га; сбор кормовых единиц – на 305-348 кг/га.

5. При оптимальной влагообеспеченности сбор кормовых единиц с урожаем сои составляет: при автотрофном типе питания азотом – 3669 кг/га, при симбиотрофном – 4017 кг/га; достоверная прибавка от инокуляции составляет 305-348 кг/га, при недостатке влаги – 87 кг/га.

Список использованных источников

1. Сеферова И.В., Вишнякова М.А. Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 3 (27). С. 41-47.
2. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fedstat.ru/>.
3. Посыпанов Г.С. Соя в Подмосковье. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007, 200 с.
4. Sinogovskaya V., Levina A. Formation of reproductive organs in an early-ripening soybean variety, depending on the daylight duration // International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» // International Scientific and Practical Conference. 2021. С. 02005.
5. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: Изд-во ВНИИА, 2022. 304 с.
6. Шевченко В.А., Кобозева Т.П., Попова Н.П. Оптимизация кормовой ценности кукурузно-соевого силоса на мелиорированных землях Нечерноземья. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», 2018. 204 с.

References

1. Seferova I.V., Vishnyakova M.A. Soybean gene pool from the VIR collection for the promotion of the agronomic areal of culture to the north // Leguminous and cereal crops. 2018. № 3 (27). P. 41-47.
2. Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS) (Electronic resource). – Access mode: <http://www.fedstat.ru/>
3. Posypanov G.S. Soy in the Moscow region. M.: FGOU VPO RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. 2007. 200 p.
4. Sinogovskaya V., Levina A. Formation of reproductive organs in an early-ripening soybean variety, depending on the daylight duration // International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture». International Scientific and Practical Conference. 2021. Pp. 02005.
5. Zavalin A.A. Biological and mineral nitrogen in agriculture of Russia. Moscow: VNIIA Publishing House, 2022. 304 p.
6. Shevchenko V.A., Kobozeva T.P., Popova N.P. Optimization of the feed value of corn-soy silage on reclaimed

7. Бельшклина М.Е. Эффективность применения биологически активных препаратов на посевах сои в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 19-24.

8. Завалин А.А., Чернова Л.С. Ресурсы биологического азота и его использования в земледелии России // Плодородие почв России: состояние и возможности. М.: Изд-во ВНИИА, 2019. С. 40-49.

9. Жаркова С.В., Манылова О.В., Быков Е.С. Применение препарата Ризоторфин на посевах сои // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 7-2. С. 63-65.

10. Трепачев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. М.: ВИУА. 1999. 532 с.

11. Бельшклина М.Е. Динамические параметры продукционного процесса раннеспелых сортов сои в зависимости от условий влагообеспеченности вегетационного периода // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (57). С. 33-39.

12. Бельшклина М.Е., Кобозева Т.П., Гуреева Е.В. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 4-9.

13. Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П. Методы исследований в полевых опытах с соей. Благовещенск: ФГБНУ Всероссийский НИИ сои, 2016. 116 с.

14. Лытов М.Н. Биоэнергетическая оценка рисков снижения водообеспеченности в различные фазы роста и развития сои // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: Материалы IV Международной научно-практической конференции. Макеевка: ГОУВПО «Донбасская аграрная академия», 2021. Т. II. С. 61-65.

Критерии авторства

Бельшклина М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., 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. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов.

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 03.02.2023

Одобрена после рецензирования 28.02.2023

Принята к публикации 28.02.2023

lands of the Non-Chernozem region. M.: FGBNU «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov». 2018. 204 p.

7. Belyshkina M.E. The effectiveness of the use of biologically active preparations on soybean crops in the conditions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. № 1 (53). P. 19-24.

8. Zavalin A.A., Chernova L.S. Resources of biological nitrogen and its use in agriculture of Russia / In the collection: Fertility of soils of Russia: state and possibilities. M.: VNIIA Publishing House, 2019. P. 40-49.

9. Zharkova S.V., Manylova O.V., Bykov E.S. Application of the drug Rizotorphin on soybean crops // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. No. 7-2. P. 63-65.

10. Trepachev E.P. Agrochemical aspects of biological nitrogen in modern agriculture. M.: VIUA. 1999. 532 p.

11. Belyshkina M.E. Dynamic parameters of the production process of early-ripening soybean varieties depending on the conditions of moisture availability of the growing season // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. № 1 (57). P. 33-39.

12. Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Gureeva E.V. Growth and development of soybean varieties of the northern ecotype depending on the influence of limiting factors of the growing season // Agrarian Scientific journal. 2020. No. 9. P. 4-9.

13. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P. Research methods in field experiments with soy. – Blagoveshchensk: All-Russian Research Institute of Soy, 2016. – 116 p.

14. Lytov M.N. Bioenergetic assessment of water supply reduction risks in various phases of soybean growth and development // Priority vectors of industry and agriculture development: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Makeyevka: State Educational Institution «Donbass Agrarian Academy», 2021. Vol. II. P. 61-65.

Criteria of authorship

Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zagoruiko M.G., Ananyeva T.V., Popova N.P. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 03.02.2023

Approved after reviewing 28.02.2023

Accepted for publication 28.02.2023

Оригинальная статья

УДК 631.4

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-52-58



ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ БАСЕЙНА САНЫ

Исаев Андрей Сергеевич, инженер

andisrgau@mail.ru

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

Аннотация. Разработана производственная классификация земель в качестве составной части сельскохозяйственной оценки природных ресурсов объекта исследования, которая подразделяет земли на категории пригодности и классы по возможности их использования под пашню, многолетние насаждения и кормовые угодья при орошении. Классификация, совместно с мелиоративной оценкой земель, позволяет определить, в каких целях целесообразно использовать те или иные орошаемые земли, какие мелиоративные мероприятия могут способствовать наиболее эффективному использованию природного потенциала при естественном увлажнении и орошении, а также производить сравнительную оценку плодородия почв по выделенным категориям и классам земель для обоснования проектной урожайности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: производственная классификация земель, категория пригодности земель, класс земель, основные диагностические свойства почв

Формат цитирования: Исаев А.С. Производственная классификация земель бассейна Саны // Природообустройство. 2023. № 2. С. 52-58. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-52-58.

© Исаев А.С., 2023

Original article

PRODUCTION CLASSIFICATION OF THE LANDS OF THE SANA'A BASIN

Isaev Andrey Sergeevich, engineer

andisrgau@mail.ru

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, building 2, Russia

Annotation. The industrial classification of lands has been developed as an integral part of the agricultural assessment of the natural resources of the research object, which divides the lands into categories of suitability and classes, if possible, for their use for arable land and perennial plantations during irrigation. Classification, together with land reclamation assessment, makes it possible to determine for what purposes it is more appropriate to use certain irrigated lands, which reclamation measures can contribute to the most effective use of natural potential with natural moistening and irrigation, as well as to make a comparative assessment of soil fertility by the selected categories and classes of land to substantiate the project crop yields.

Keywords: production classification of lands, categories of land suitability, classes of lands, basic diagnostic properties of soils

Format of citation: Isaev A.S. Production classification of the lands of the Sana's basin // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 52-58. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-52-58.

Введение. Основной задачей исследования является построение производственной классификации земель в качестве составной части сельскохозяйственной оценки природных ресурсов бассейна Саны. Предложенная производственная классификация земель

предусматривает выделение категорий пригодности и классов земель, что позволяет решать следующие задачи: размещать сельскохозяйственные культуры на землях, пригодных для сельскохозяйственного производства, отнесенных к определенным агропроизводственным

классам земель, с учетом требований культур к уровню плодородия почв в условиях орошения, проводить сравнительную оценку уровня плодородия почв по выделенным агропроизводственным классам земель для обоснования проектной урожайности сельскохозяйственных культур, разрабатывать мелиоративные мероприятия, способствующие максимальному использованию природного потенциала при естественном увлажнении и при орошении.

Методические основы построения классификации орошаемых земель:

1. Критерием подразделения земель на категории является возможность их использования под пашню, многолетние насаждения и пастбища.

2. Критерием подразделения категорий земель на классы является распределение основных диагностических свойств почв в иерархическом порядке – от низкоуровневых к высокоуровневым.

3. Определение наборов ведущих сельскохозяйственных культур, агрохозяйственные требования которых сопоставимы с диагностическими свойствами почв каждого класса, а также агроклиматическими и почвенно-мелиоративными условиями региона.

Построение производственной классификации земель бассейна Саны. Производственная классификация земель является составной частью сельскохозяйственной оценки природных ресурсов объекта исследования и заключается в подразделении земель на категории и классы по возможности их использования под пашню и многолетние насаждения при орошении.

Классификация вместе с мелиоративной оценкой земель позволяет определить, в каких целях целесообразно использовать те или иные орошаемые земли, какие мелиоративные мероприятия могут способствовать наиболее эффективному использованию природного потенциала при естественном увлажнении и орошении, а также произвести сравнительную оценку плодородия почв по выделенным категориям и классам земель для обоснования проектной урожайности сельскохозяйственных культур.

В условиях естественного увлажнения продуктивная способность земель зависит исключительно от их влагообеспеченности. Поэтому строить производственную классификацию земель на основе состава, свойств, уровня плодородия и продуктивности почв пахотных угодий и многолетних насаждений (сады, виноградники) аридной зоны имеет смысл только для оценки возможности земледелия в условиях орошения,

позволяющей определить набор сельскохозяйственных культур, агрохозяйственные требования которых сопоставимы с земельными, агроклиматическими и почвенно-мелиоративными условиями региона.

Предложенная производственная классификация земель предусматривает выделение категорий пригодности и классов земель, что позволяет решать следующие задачи: размещать сельскохозяйственные культуры по агропроизводственным классам земель с учетом их требований к уровню плодородия почв в условиях орошения, проводить сравнительную оценку уровня плодородия почв в условиях орошения по выделенным агропроизводственным классам земель для обоснования проектной урожайности сельскохозяйственных культур, разрабатывать мелиоративные мероприятия, способствующие максимальному использованию природного потенциала при естественном увлажнении и при орошении.

В основе принципа ограничений при использовании выделены следующие категории земель:

Категория I. Земли, пригодные под пашню и многолетние насаждения для возделывания любых районированных культур.

Категория II. Земли, пригодные под пашню и малопригодные под многолетние насаждения.

Категория III. Земли, непригодные под пашню и многолетние насаждения, но используемые под пастбища.

Категория IV. Земли, непригодные для сельскохозяйственного производства.

Классы земель являются основными единицами классификации и представляют собой участки с близкими природными и хозяйственными условиями, требующие применения одинаковых методов повышения продуктивности почв путем проведения мелиоративных мероприятий и одинаковых технологических схем выращивания сельскохозяйственных культур в условиях орошаемого земледелия.

Выделение классов земель произведено на основе следующих основных диагностических свойств почв: мощность гумусово-аккумулятивного горизонта, мощность слоя мелкозема, гранулометрический состав верхнего метрового слоя почвы, структура почвенных горизонтов верхнего метрового слоя почвы, солонцеватость почв, засоленность почв, эродированность почв, каменистость почв.

Такие свойства почв, как емкость поглощения, реакция почвенного раствора, содержание гумуса, карбонатов, подвижного фосфора

и обменного калия, для упрощения не учитывались, так как их значения по почвам объекта различаются незначительно.

Характеристика основных диагностических свойств почв в целях выделения классов приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика основных диагностических свойств почв в целях выделения классов

Table.1.Characteristics of the main diagnostic properties of soils in order to distinguish classes

№	Свойство почв	Значение показателя	Характеристика
1	2	3	4
1	Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта почвы, см	Отсутствие почвенного слоя	Обломочная или массивно-кристаллическая коренная горная порода
		0-30 см	Слаборазвитые
		30-60 см	Маломощные
		60-100 см	Среднемощные
		более 100 см	Мощные
2	Мощность слоя мелкозема (элементарных почвенных частиц с условным диаметром менее 1 мм), см	Отсутствие слоя мелкозема	Обломочная или массивно-кристаллическая коренная горная порода
		0-30 см	Слаборазвитые
		30-60 см	Маломощные
		60-100 см	Среднемощные
		более 100 см	Мощные
3	Гранулометрический состав верхнего метрового слоя мелкозема почвы, определяемый по содержанию физической глины (элементарных почвенных частиц с условным диаметром менее 0,01 мм)	0-5%	Песок рыхлый
		5-10%	Песок связный
		10-20%	Супесь
		20-30%	Суглинок легкий
		30-45%	Суглинок средний
		45-60%	Суглинок тяжелый
		60-75%	Глина легкая
		75-85%	Глина средняя
		85-100%	Глина тяжелая
		Выходы коренных горных пород	Обломочная или массивно-кристаллическая коренная горная порода
4	Структура почвенных горизонтов верхнего метрового слоя почвы, определяемая по содержанию агрегатов диаметром 0,25-10 мм, % к массе навески почвы	80-100%	Отличная
		60-80%	Хорошая
		40-60%	Удовлетворительная
		20-40%	Неудовлетворительная
		Менее 20%	Плохая
5	Солонцеватость верхнего метрового слоя почвы, определяемая по содержанию обменного натрия, % от емкости поглощения почвенно-поглощающего комплекса (элементарных почвенных частиц условным диаметром менее 0,0001 мм)	Менее 3%	Несолонцеватые
		3-5%	Слабосолонцеватые
		5-10%	Среднесолонцеватые
		10-15%	Сильносолонцеватые
		Более 15%	Солонцы
6	Засоленность верхнего метрового слоя почвы, определяемая в зависимости от типа засоления по содержанию воднорастворимых солей в водной вытяжке 1:5, %	Засоление отсутствует по всему профилю почвы	Незасоленные
		Комплексы, включающие в себя преобладающие незасоленные почвы и редкие слабо- и средnezасоленные почвы	Спорадически засоленные
		Почвы, имеющие один или несколько слабо или средне-засоленных горизонтов.	Засоленные

Окончание табл. 1

1	2	3	4
7	Глубина залегания солевого горизонта от поверхности почвы, см	0-30 см	Солончаковые
		30-70 см	Солончаковатые
		70-100 см	Глубокосолончаковатые
		100-200 см	Глубокозасоленные
8	Эродированность (смытость) почв, определяемая по степени смытости гумусово-аккумулятивного горизонта почвы	Горизонт А не смыт	Неэродированные
		Смыто не более чем на половину горизонт А	Слабоэродированные (слабосмытые)
		Смыто более чем на половину или полностью горизонт А	Среднеэродированные (среднесмытые)
		Смыт частично, или полностью переходный горизонт В	Сильноэродированные (сильносмытые)
9	Поверхностная каменистость почвы, определяемая по степени покрытия поверхности почвы окатанными камнями или камнями с острыми краями диаметром более 5 см, %	Покрывание поверхности культурной почвы камнями диаметром менее 5 см менее 5%	Некаменистые культурные почвы с убранными камнями
		Покрывание поверхности целинной почвы камнями диаметром более 5 см	-
		5-10%	Слабокаменистые
		10-20%	Среднекаменистые
		20-50%	Сильнокаменистые
		Более 50%	Очень сильнокаменистые
10	Почвообразующие и подстилающие горные породы	Обломочная или массивно-кристаллическая коренная горная порода	Базальты третичные (βTr)
			Базальты четвертичные (βQ)
			Песчаники меловые (SS)
			Известняки юрские (LS)
			Суглинки, редко – супеси четвертичные (LQ)
			Рыхлый каменистый четвертичный материал (stQ)

Примечание.

1. Почвы в верхнем метровом слое, как правило, неоднородны по гранулометрическому составу и могут быть подразделены следующим образом: легко- и среднесуглинистые, супесчаные и среднесуглинистые, легко- и среднесуглинистые с прослойками тяжелых суглинков и глин, средне- и тяжелосуглинистые, тяжелосуглинистые и глинистые, выходы коренных пород.

2. Почвы в верхнем метровом слое, как правило, неоднородны по типу и степени засоления и в границах выделенного контура могут быть подразделены следующим образом: незасоленные – засоление отсутствует по всему профилю; спорадически засоленные – при общем преобладании незасоленных почв встречаются слабо- и средnezасоленные почвы; засоленные – почвы имеют один или несколько солевых горизонтов, включающих в себя слабо- или средnezасоленные почвы.

Подразделение почв по типу и степени засоления производится на основе классификации засоленных почв, представленной в таблице 2.

По совокупности выделенных диагностических свойств почвы объединены в следующие классы:

Первый класс (индекс почв 5 и 7) – почвы с наиболее благоприятными свойствами.

Второй класс (индекс почв 4) – почвы со средними по благоприятности свойствами, преимущественно солонцеватые и спорадически слабозасоленные.

Третий класс (индекс почв 6) – почвы солонцеватые со слитыми горизонтами на глубине более 30-60 см, обладающие низкой

водопроницаемостью и расположенные по днищам крупных и средних вад.

Четвертый класс (индекс почв 3) – почвы целинные эродированные маломощные каменистые.

Пятый класс (индекс почв 2) – почвы целинные, неполноразвитые, эродированные, каменистые, с мощностью почвенных горизонтов 0-30 см, расположенные, как правило, на склонах крутизной более 15°.

Шестой класс (индекс почв 1) – выходы коренных горных пород на дневную поверхность, не имеющие почвенного слоя.

Последние два класса почв преобладают на объекте, занимая 65% площади.

Производственная классификация земель бассейна Саны приведена в таблице 3.

Таблица 2. Тип и степень засоления почвы по содержанию токсичных солей и анионов
Table 2. Type and degree of soil salinization by the content of toxic salts and anions

Степень засоления почвы	Хлоридный				Сульфатно-хлоридный				Хлоридно-сульфатный				Сульфатный				Содово-хлоридный				Содово-сульфатный			
	$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}} \geq 2,5$				$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}} = 2,5 - 1,0$				$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}} = 1,0 - 0,3$				$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}} \leq 0,3$				$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}} > 1$				$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}} < 1$			
	S (т.с.)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%	S (т.с.)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%	S (т.с.)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%	S (т.с.)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%	S (т.с.)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%	S (т.с.)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%
Незасоленная	%				%				%				%				%				%			
	мг-экв. на 100 г почвы				мг-экв. на 100 г почвы				мг-экв. на 100 г почвы				мг-экв. на 100 г почвы				мг-экв. на 100 г почвы				мг-экв. на 100 г почвы			
Слабозасоленная	<0,03	<0,01	<0,006	<0,03	<0,01	<0,014	<0,05	<0,10	<0,01	<0,05	<0,05	<0,015	<0,01	<0,08	<0,05	<0,1	<0,01	<0,001	<0,05	<0,8	<0,04	<0,001	<0,05	<0,8
	0,03-0,1	0,03	0,02	0,05-0,12	0,01-0,03	0,014-0,04	0,05-0,12	0,1-0,25	0,01-0,03	0,05-0,13	0,13-0,27	0,15-0,30	0,01-0,02	0,08-0,17	0,05-0,8	0,1-0,15	0,01-0,02	0,001-0,002	0,05-0,8	0,04-0,01	0,001-0,002	0,05-0,09	0,05-0,80	0,05-1,40
	0,1-0,3	0,03-0,1	0,06-0,12	0,12-0,35	0,03-0,09	0,04-0,12	0,12-0,35	0,25-0,5	0,03-0,09	0,13-0,28	0,28-0,58	0,30-0,60	0,06-0,12	0,34-0,70	0,12-0,20	0,15-0,30	0,07-0,20	0,006-0,020	0,12-0,20	0,10-0,20	0,009-0,030	0,12-0,20	0,09-0,20	0,12-0,20
Среднезасоленная	>0,6	>0,25	>0,13	>0,70	>0,23	>0,24	>0,38	>0,9	>0,20	>0,38	>0,38	>1,4	>0,12	>0,86	>0,86	>0,5	>0,10	>0,01	>0,18	>0,6	>0,19	>0,18	>0,18	>3,0
	0,6-0,8	0,25-0,3	0,13-0,20	0,70-0,80	0,23-0,28	0,24-0,28	0,38-0,58	0,9-0,9	0,20-0,28	0,38-0,58	0,58-0,80	1,4-1,4	0,12-0,12	0,86-0,86	0,86-0,86	0,5-0,5	0,10-0,10	0,010-0,010	0,18-0,18	0,35-0,35	0,19-0,19	0,18-0,18	0,18-0,18	3,0-3,0
	0,8-1,0	0,3-0,4	0,20-0,28	0,80-1,00	0,28-0,35	0,28-0,35	0,58-0,80	0,9-0,9	0,28-0,35	0,38-0,58	0,58-0,80	1,4-1,4	0,12-0,12	0,86-0,86	0,86-0,86	0,5-0,5	0,10-0,10	0,010-0,010	0,18-0,18	0,35-0,35	0,19-0,19	0,18-0,18	0,18-0,18	3,0-3,0
Очень сильнозасоленная	>0,6	>0,25	>0,13	>0,70	>0,23	>0,24	>0,38	>0,9	>0,20	>0,38	>0,38	>1,4	>0,12	>0,86	>0,86	>0,5	>0,10	>0,01	>0,18	>0,6	>0,19	>0,18	>0,18	>3,0
	0,6-0,8	0,25-0,3	0,13-0,20	0,70-0,80	0,23-0,28	0,24-0,28	0,38-0,58	0,9-0,9	0,20-0,28	0,38-0,58	0,58-0,80	1,4-1,4	0,12-0,12	0,86-0,86	0,86-0,86	0,5-0,5	0,10-0,10	0,010-0,010	0,18-0,18	0,35-0,35	0,19-0,19	0,18-0,18	0,18-0,18	3,0-3,0
	0,8-1,0	0,3-0,4	0,20-0,28	0,80-1,00	0,28-0,35	0,28-0,35	0,58-0,80	0,9-0,9	0,28-0,35	0,38-0,58	0,58-0,80	1,4-1,4	0,12-0,12	0,86-0,86	0,86-0,86	0,5-0,5	0,10-0,10	0,010-0,010	0,18-0,18	0,35-0,35	0,19-0,19	0,18-0,18	0,18-0,18	3,0-3,0

Таблица 3. Производственная классификация земель бассейна Саны

Table 3. Prouction classification of the lands of the Sana'a basin

Категория земель		Класс земель		Почвы		Площадь, га
№	Характеристика	№	Характеристика	Индекс	Наименование	
Категория I	Земли, пригодные под пашню и многолетние насаждения для возделывания любых районированных культур	1	Земли с наиболее благоприятными свойствами	5	Горные серо-коричневые светлые карбонатные, террасированные, легко- и среднесуглинистые, редко супесчаные и песчаные	437,5
				7	Горные серо-коричневые обыкновенные карбонатные, террасированные, спорадически слабосолонцеватые, слабозасоленные, с признаками вертикальности (слитости), легко- и среднесуглинистые, редко тяжелосуглинистые и глинистые	179,0
		2	Земли со средними по благоприятности свойствами, преимущественно солонцеватые и спорадически слабозасоленные	4	Горные серо-коричневые светлые карбонатные, слабоэродированные, окультуренные, преимущественно слабосолонцеватые, спорадически слабозасоленные, легко- и среднесуглинистые, редко супесчаные	241,0
Категория II	Земли, пригодные под пашню и малопригодные под многолетние насаждения	3	Земли солонцеватые со слитыми горизонтами на глубине более 30-60 см, обладающие низкой водопроницаемостью и расположенные по днищам крупных и средних вад	6	Горные серо-коричневые светлые карбонатные, террасированные, солонцеватые с признаками вертикальности (слитости), средние, редко – тяжелосуглинистые	58,0
Категория III	Земли, не пригодные под пашню и многолетние насаждения, но используемые под пастбища.	4	Земли целинные эродированные маломощные каменистые	3	Горные серо-коричневые светлые карбонатные, слабоэродированные, спорадически слабосолонцеватые и слабозасоленные, каменистые и щебнистые, супесчаные и легкосуглинистые	83,0
		5	Почвы целинные, неполноразвитые, эродированные, каменистые, с мощностью почвенных горизонтов 0-30 см, расположенные, как правило, на склонах крутизной более 15°	2	Горные серо-коричневые светлые неполноразвитые, карбонатные, эродированные, каменистые и щебнистые, супесчаные, легко- и среднесуглинистые	896,5
Категория IV	Земли, не пригодные под пашню, многолетние насаждения и пастбища.	6	Выходы коренных горных пород на дневную поверхность не имеющие почвенного слоя	1	Горные неразвитые (выходы горных пород на дневную поверхность земли)	1149

Выводы

Предложенная производственная классификация земель предусматривает выделение категорий пригодности и классов земель, что позволяет решать следующие задачи: размещать сельскохозяйственные культуры по землям, пригодным для сельскохозяйственного производства, отнесенным к определенным агропроизводственным классам, с учетом их требований

к уровню плодородия почв в условиях орошения, производить сравнительную оценку уровня плодородия почв по выделенным агропроизводственным классам земель для обоснования проектной урожайности сельскохозяйственных культур, разрабатывать мелиоративные мероприятия, способствующие максимальному использованию природного потенциала при естественном увлажнении при орошении.

Список использованных источников

1. Методическое руководство по агроэкологической оценке земель, проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. академика РАСХН В.И. Кирюшина, академика РАСХН А.Л. Иванова. М.: РГАУ-МСХА, 2005. 741 с.

References

1. Methodical guide to agroecological assessment of lands, design of adaptive-landscape systems of agriculture and agrotechnologies / Edited by academician of the Russian Academy of Agricultural Sciences V.I. Kiryushin, academician of the Russian Academy

2. Классификация почв и агроэкологическая типология земель: учебное пособие для вузов / В.И. Кирюшин. Изд. 3-е, стер. СПб.: Лань, 2021. 284 с. // Лань: Электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/152447> (дата обращения: 09.12.2021).

3. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии: учебник. СПб.: Лань, 2021. 464 с. // Лань: Электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/168811> (дата обращения: 09.12.2021).

4. Ступин Д.Ю. Влияние изменения климата на агроэкологические системы: учебное пособие. СПб.: Лань, 2020. 224 с. ISBN 978-5-8114-4198-3. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL – режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Глухих М.А. Системы земледелия и их развитие: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2021. 116 с. // Лань: Электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/176857> (дата обращения: 09.12.2021).

6. Юлусhev И.Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП: учебное пособие. М.: Академический Проект, 2020. 368 с. ISBN 978-5-8291-3014-5. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/132243> (дата обращения: 09.12.2021). Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Адаптивное растениеводство: Учебное пособие для вузов / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, Н.А. Лопачев и др. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 356 с. ISBN 978-5-8114-8894-0. // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/183107> (дата обращения: 09.12.2021).

8. Растениеводство: учебник для вузов / В.Е. Ториков, Н.М. Белоус, О.В. Мельникова, С.В. Артюхова; Под общ. ред. В.Е. Торикова. СПб.: Лань, 2020. 604 с. ISBN 978-5-8114-4744-2. // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/147326> (дата обращения: 09.12.2021). Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Медведев Г.А., Ципляев А.Н. Бахчеводство: учебник для вузов. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 192 с. ISBN 978-5-8114-7064-8. // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/154402> (дата обращения: 09.12.2021). Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. Кн. 1-5. М.: Мосгипроводхоз, 1986.

Критерии авторства

Исаев А.С. выполнил теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провёл обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и не сёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 09.12.2022

Одобрена после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 25.01.2023

of Agricultural Sciences A.L. Ivanov. M.: RGAU-MSHA, 2005.741 p.

2. Classification of soils and agroecological typology of lands: A textbook for universities / V.I. Kiryushin. 3rd edition, St. Petersburg: Lan, 2021. 284 p. // Lan: Electronic library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/152447> (accessed: 09.12.2021)

3. Kiryushin V.I., Kiryushin S.V. Agrotechnologies: a textbook. SPb.: Lan, 2021. 464 s. ISBN978-5-8114-1889-3. Text: electronic // Lan: electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/168811> (date of access: 2021-12-09). – Access mode: for authorization of users.

4. Stupin D.Yu. The influence of climate change on agroecological systems: a textbook. SPb.: Lan, 2020. 224 p. ISBN978-5-8114-4198-3. Text: electronic // Lan: electronic library system. URL: – type for authorized users.

5. Glukhikh M.A. Systems of agriculture and their development: a textbook for universities. SPb.: Lan, 2021. 116 s. ISBN978-5-8114-7691-6. Text: electronic // Lan: electronic library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/176857> (date of access: 09.12.2021). Access mode: for authorized. Users.

6. Yulushev I.G. Soil-agrochemical foundations of adaptive-landscape organization of systems of agriculture VKZP: a textbook. – M.: Academic Project, 2020. – 368 p. ISBN978-5-8291-3014-5. Text: electronic // Lan: electronic-library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/132243> (date of access: 09.12.2021). Access mode: for authorized users.

7. Adaptive plant growing: a textbook for universities / V.N. Naumkin, A.S. Stupin, N.A. Lopachev [and others] / 3rd ed., ster. – SPB.: Lan, 2021. – 356 p. ISBN978-5-8114-8894-0. Text: electronic // Lan: electronic-library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/183107> (date of access: 09.12.2021). Access mode: for authorized users.

8. Plant Growing: Textbook for Universities / V.E. Torikov, N.M. Belous, O.V. Melnikova, S.V. Artyukhova; edited by V.E. Torikov. – SPb.: Lan, 2020. – 604 p. ISBN978-5-8114-4744-2. Text: electronic // Lan: electronic-library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/147326> (date of access: 09.12.2021). Access mode: for authorized users.

9. Medvedev G.A., Tsipliyev A.N. Melon growing: a textbook for universities. 3-e ed., ster. SPb.: Lan, 2021. 192 p. ISBN978-5-8114-7064-8. Text: electronic // Lan: electronic-library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/154402> (date of access: 09.12.2021). – Access mode: for authorized users.

10. The scheme of using the water resources of the Sauna pool. Books 1-5. Moscow: Mosgiprovodkhoz, 1986.

Criteria of authorship

Isaev A.S. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript. Hey has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 09.12.2022

Approved after reviewing 25.11.2022

Accepted for publication 25.01.2023

Оригинальная статья

УДК 626.86

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-59-65



ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОГО СТОКА С ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Дрововозова Татьяна Ильинична, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник

SPIN-код: 7011-0905, ORCID: 0000-0002-8724-7799; tid70.drovovozova@yandex.ru

Манжина Светлана Александровна, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

SPIN-код: 3829-3611, ORCID: 0000-0001-9322-0843; manz.svetlana@yandex.ru

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

Аннотация. Цель исследований – комплексная гидроэкологическая оценка коллекторно-дренажных вод оросительных систем Ростовской области в динамике для установления пространственно-временных закономерностей изменения их качества. Объектами исследований являлись 20 магистральных коллекторных каналов 5 филиалов ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз». Для гидрохимической оценки использовали интегральный показатель – коэффициент предельной загрязненности ($K_{пз}$), учитывая приоритетные показатели качества коллекторно-дренажных вод (КДВ). Динамика коэффициента предельной загрязненности воды в коллекторах Семикаракорского филиала за 2009-2021 гг. показала отсутствие резких колебаний качества дренажного стока. Величина коэффициента предельной загрязненности колеблется от 0 до 1, дренажная вода характеризуется как умеренно загрязненная. В коллекторах Багаевского филиала величина $K_{пз}$ колеблется в интервале 0...2,7, дренажная вода характеризуется как умеренно загрязненная, загрязненная. Преобладающими ионами в дренажном стоке являются сульфаты и натрий. Высокое содержание сульфатов в дренажном стоке обусловлено привнесом от сульфатных грунтовых вод, характерных для данного региона. Исследование коллекторно-дренажной воды в коллекторах Семикаракорского и Багаевского филиалов на содержание биогенных элементов в 2021 г. показало регулярное превышение фосфатов в течение всего поливного периода. Сравнительный анализ качества природной воды водоприемников КДВ в фоновых створах и коллекторно-дренажных вод показал, что гидрохимический состав исследуемых вод является примерно одинаковым. Это свидетельствует о слиянии водных объектов и открытых коллекторов в земляном русле в единую гидрографическую сеть. В 25% исследованных коллекторов наблюдалось более низкое качество воды, чем в водоприемнике.

Ключевые слова: коллекторно-дренажный сток, коэффициент предельной загрязненности, гидрохимические показатели, солеобразующие ионы, дренажные воды, оросительные системы

Формат цитирования: Дрововозова Т.И., Манжина С.А. Гидроэкологическая оценка коллекторно-дренажного стока с оросительных систем Ростовской области // Природообустройство. 2023. № 2. С. 59-65. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-59-65.

© Дрововозова Т.И., Манжина С.А., 2023

HYDROECOLOGICAL ASSESSMENT OF COLLECTOR-DRAINAGE RUNOFF FROM IRRIGATION SYSTEMS OF THE ROSTOV REGION

Drovovozova Tatyana Iljinichna, doctor of technical sciences, associate professor; leading researcher

SPIN-код: 7011-0905, ORCID: 0000-0002-8724-7799; tid70.drovovozova@yandex.ru

Manzhina Svetlana Alexandrovna, candidate of technical sciences, associate professor; senior researcher

SPIN-код: 3829-3611, ORCID: 0000-0001-9322-0843; manz.svetlana@yandex.ru

Russian Research Institute for Land Reclamation Problems; 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190, Russia

Annotation. The purpose of the work is to conduct a comprehensive hydroecological assessment of collector-drainage waters of irrigation systems of the Rostov region in dynamics to establish spatial

and temporal patterns of changes in their quality. The objects of the study were 20 main collector channels of five branches of the Federal State Budgetary Institution «Management «Rostovmeliiovodkhoz». Structurally, all collectors are open channels in the earth bed. For the hydrochemical assessment, an integral indicator, the coefficient of maximum pollution (C_{mp}), was used, taking into account the priority indicators of the quality of collector-drainage waters (CDW). The dynamics of the coefficient of water pollution limit in the reservoirs of the Semikarakorsky branch for the period 2009-2021 showed the absence of sharp fluctuations in the quality of drainage runoff, the value of the coefficient of maximum pollution ranges from 0 to 1, drainage water is characterized as moderately polluted. In the collectors of the Bagaevsky branch, the value of the C_{mp} fluctuates in the range of 0...2.7, drainage water is characterized as moderately polluted, polluted. The predominant ions in the drainage runoff are sulfates and sodium. The high content of sulfates in the drainage runoff is due to the introduction of sulphate groundwater, characteristic of this region. A study of collector-drainage water in the reservoirs of the Semikarakorsky and Bagaevsky branches for the content of biogenic elements in 2021 showed a regular excess of phosphates during the entire irrigation period. A comparative analysis of the quality of natural water of the CDW water intakes in the background and collector-drainage waters showed that the hydrochemical composition of the studied waters is approximately the same, which indicates the merger of water bodies and open reservoirs in the earth channel into a single hydrographic network. In 25% of the studied collectors, lower water quality was observed than in the water intake.

Keywords: coefficient of maximum pollution, hydro chemical indicators, salt-forming ions, drainage waters, irrigation systems

Format of citation: Drovovozova T.I., Manzhina S.A. Hydroecological assessment of collector-drainage runoff from irrigation systems of the Rostov region // Prirodoobustrojstvo. 2023. No 2. S. 59-65. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-59-65.

Введение. В настоящее время водопотребление на нужды сельского хозяйства во всех округах, кроме Южного федерального округа (ЮФО), практически сведено к минимуму, составляет 5% и меньше от общего водопотребления, поскольку в этих округах даже площади, расположенные в зоне влияния оросительных систем, используются на богаре. В ЮФО, где сосредоточена большая часть орошаемых земель России, водопотребление на нужды сельского хозяйства за последние 15 лет практически не изменилось [1].

Водные объекты, находящиеся в зоне влияния гидромелиоративных систем, испытывают интенсивное антропогенное давление, выражающееся в загрязнении и истощении их водных ресурсов. Примером негативного воздействия на природные водные объекты являются коллекторно-дренажные воды оросительных систем. Поэтому оценка качества дренажного стока в динамике позволит получить представление о степени его воздействия на природный водный объект.

На формирование качественного состава дренажного стока влияют поверхностный сток с водосборной площади, которая представляет собой преимущественно агроландшафт, грунтовые воды и почвенный фильтрат, образующийся в результате полива сельскохозяйственных земель [2-6].

В настоящее время отсутствует нормативно утвержденная методика оценки качества

дренажных вод, поэтому применяются эколого-гидрохимическая и мелиоративная оценки в зависимости от дальнейшего использования дренажных вод. Основным объемом образующихся коллекторно-дренажных вод отводится в природные водные объекты. Объемы водоотведения настолько велики, что они существенно влияют на гидрохимический режим водных объектов, особенно если таковым является малый водный объект с сопоставимыми с коллекторно-дренажным стоком расходами. Так, по данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга» на 2021-2022 гг., годовой объем водоотведения с коллекторно-дренажной сети ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» составил 2272,41 тыс. м³, ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» – 1463551,27 тыс. м³, ФГБУ «Управление «Адыгемелиоводхоз» – 47141 тыс. м³, ФГБУ «Минмелиоводхоз Республики Дагестан» – 290523 тыс. м³ [7].

Наибольшие орошаемые площади Юга России, фактически используемые в сельскохозяйственном производстве, находятся в Краснодарском крае (375,575 тыс. га из них – фактически политая, 190,140 тыс. га) и в Республике Дагестан (395,6 тыс. га из них – фактически политая, 258,82 тыс. га). Соответственно в этих субъектах объемы водоотведения коллекторно-дренажного стока в природные водные объекты являются максимальными. На третьем месте по количеству орошаемых площадей находится Ростовская область (265,062 тыс. га).

В Ростовской области весьма остро стоит проблема качества отводимого коллекторно-дренажного стока. Основными гидрохимическими показателями, превышающими предельно допустимые концентрации, являются солеобразующие ионы и соответственно показатель минерализации, а также биогенные элементы – в частности, фосфаты. И если последний компонент имеет исключительно антропогенное происхождение, то присутствие отдельных солеобразующих ионов обусловлено природным геохимическим фоном [8, 9].

В связи с вышеизложенным целью исследований являлось проведение комплексной гидроэкологической оценки коллекторно-дренажных вод оросительных систем Ростовской области в динамике для установления пространственно-временных закономерностей изменения их качества.

Материалы и методы исследований.

Объектами исследования являлись магистральные коллекторные каналы Багаевской, Садковской и Азовской оросительных систем Ростовской области (соответственно Багаевский, Весёловский, Семикаракорский, Волгодонской и Аксайский районы). Для оценки качества коллекторно-дренажных вод в исследуемых коллекторах использованы данные протоколов испытаний проб сточной (дренажной) воды за различные годы, предоставленные испытательной лабораторией Ростовской гидрогеолого-мелиоративной партией ФГБУ «Управления «Ростовмелиоводхоз», а также собственные натурные исследования, проведенные в 2019, 2021 гг.

Гидроэкологическую оценку качества коллекторно-дренажного стока провели, используя методы, основанные на применении интегральных, комплексных показателей, с определением пределов пороговых и допустимых изменений [10, 11].

Для гидрохимической оценки использовали интегральный показатель – коэффициент предельной загрязненности, учитывая приоритетные показатели качества коллекторно-дренажных вод. Показатель предельной загрязненности выражается в безразмерном виде ($K_{пз}$):

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \sum_i^n \frac{C_i}{ПДК_i} - 1,$$

где N – количество i -х веществ, используемых для оценки показателя; C_i – концентрация i -го вещества в воде; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го вещества ($ПДК_{п.х.}$) [12].

Величина коэффициента предельной загрязненности изменяется от –0,8 для чистой

воды до 5 для очень грязной воды. Для умеренно загрязненной воды $K_{пз}$ составляет 0...1, для загрязненной – 1...3 [10, 11].

Результаты и их обсуждение. Для сравнения качества дренажного стока с природным фоном водных объектов – приемников дренажно-сбросных вод (ДСВ) – был рассчитан $K_{пз}$ в соответствующих створах. Обследовано 20 коллекторов в 5 филиалах ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз». Конструктивно все коллекторы представляют собой открытые каналы в земляном русле. Результаты расчета $K_{пз}$ представлены в таблице 1.

Необходимо отметить, что качество дренажной воды в коллекторах либо сопоставимо с качеством природной воды в фоновых створах водоприемников, либо по отдельным коллекторам лучше (БГ-МС-6, БГ-МС-10, все коллекторы Семикаракорского филиала, кроме К-3). В коллекторах К-3, БГ-МС-3, БГ-МС-5, С-МС-1, БТ-ЛС-1 качество коллекторно-дренажных вод значительно хуже, чем в водоприемнике. Соответственно данные водные объекты подвержены максимальной антропогенной нагрузке.

Из общего объема водоотведения из коллекторно-дренажных сетей, находящихся в ведении ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», на Багаевскую оросительную систему приходится 59,22%, на Садковскую – 40,37%. Наибольшие объемы по отводу с орошаемых полей коллекторно-дренажных вод регистрируются в Багаевском и Семикаракорском филиалах. В связи с этим рассчитан коэффициент предельной загрязненности коллекторно-дренажного стока в динамике для действующих коллекторов этих филиалов. Результаты гидроэкологической оценки качества ДСВ в динамике представлены на рисунках 1, 2.

Динамика коэффициента предельной загрязненности воды в коллекторах Семикаракорского филиала за 2009-2021 гг. показала отсутствие резких колебаний качества коллекторно-дренажного стока. Величина $K_{пз}$ колеблется от 0 до 1, дренажная вода характеризуется как умеренно загрязненная. Исключением является коллектор К-3, в котором $K_{пз}$ увеличился с 0,304 (вода умеренно загрязненная, близкая к чистой) в 2009 г. до 2,15 (вода загрязненная) в 2021 г.

В коллекторах Багаевского филиала БГ-МС-2, БГ-МС-3 и БГ-МС-5 величина $K_{пз}$ колеблется в интервале 1...2,7, дренажная вода характеризуется как загрязненная, в коллекторах БГ-МС-6 и БГ-МС-10 $K_{пз} = 0...1$, дренажная вода умеренно загрязненная.

Преобладающими ионами в воде коллекторов Семикаракорского филиала являются

Таблица 1. Коэффициент предельной загрязненности природной воды в фоновом створе и коллекторно-дренажного стока в устье коллекторов Ростовской области (на 2021 г.)

Table 1. The coefficient of maximum pollution of natural water in the background alignment and collector-drainage runoff at the mouth of the collectors of the Rostov region (for 2021)

Филиал ФГБУ Управление по мелиорации земель <i>Branch of the Federal State Budgetary Institution Department of Land Reclamation</i>	$K_{пз}$ природной воды (водоприёмник) $C_{мпз}$ of natural water (water intake)	$K_{пз}$ дренажной воды $C_{мп}$ of drainage water	
Багаевский <i>Bagaevsky</i>	0,57 (Р. Зап. Маныч) / (R. Zap. Manych)	БГМС-3	2,52
	1,56 (Р. Дон) / (R. Don)	БГМС-5	2,32
	1,68 (Р. Подпольная) / (R. Podpolnaya)	БГМС-6	0,16
	0,51 (Р. Зап. Маныч) / (R. Zap. Manych)	БГМС-10	0,435
Семикаракорский <i>Semikarakorsky</i>	1,54 (Ерик Бешеный) / (Erik Bessshenny)	К-3	2,15
	1,59 р. Солёная) / (r. Solenaya)	ЛС-2	0,50
	1,765 (ур. Колодезьки) / (ur. Kollodezjki)	МКЛ-7	0,99
	1,54 (р. Дон) / (r. Don)	ЦС	0,75
	1,714 (пр. Костылёвский) / (pr. Kostylevsky)	БГМС-4	0,58
	1,68 (р. Сал) / (r. Sal)	КСБ	–
	1,64 (оз Калмыцкое) / (lake Kalmytskoe)	БГМС-1	–
Весёловской <i>Vesolovskoy</i>	0,326 (б. Большая Солёная) (b. Bolshaya Solenaya)	С-МС-1	2,17
	0,64 (б. Большая Солёная) (b. Bolshaya Solenaya)	БГМС-2	0,106
	0,43 (р. З. Маныч) / (r. Manych)	БГМС-13	0,79
Волгодонской <i>Volgodonskoy</i>	–0,12 (ер. Подпольный) / (er. Podpolny)	Выпуск 1	–0,17
	–0,12 (ер. Подпольный) / (er. Podpolny)	Выпуск 2	–0,12
	0,03 (ер. Ушаков) / (er. Ushakov)	Выпуск 3	–0,07
	–0,213 (ер. Пирожок) / (er. Pirozhok)	Выпуск 4	–0,08
Аксацкий <i>Aksajsky</i>	2,18 (оз. Генеральское) / (lake General'skoe)	АС-МС-3	1,78
	0,22 (р. Дон, 57 км от устья) (r. Don, 57 km from the mouth)	БТ-ЛС-1	1,94

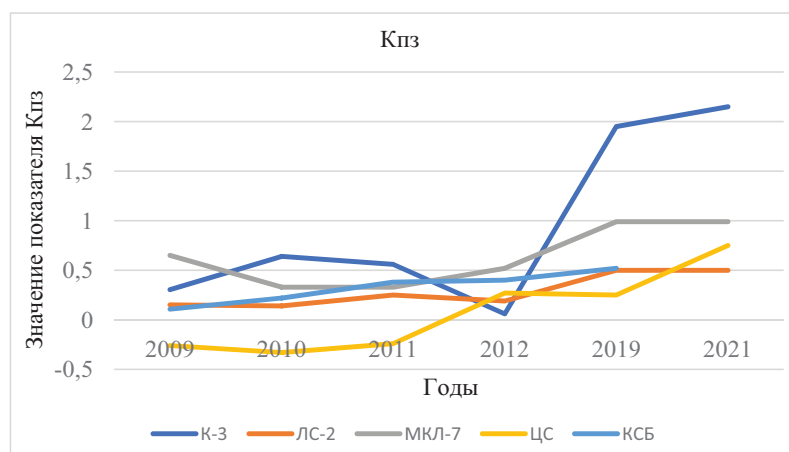


Рис. 1. Динамика коэффициента предельной загрязненности дренажно-сбросной воды в коллекторах Семикаракорского филиала

Fig. 1. Dynamics of the coefficient of maximum pollution of drainage and waste water in the collectors of the Semikarakorsk branch

сульфат-анионы (от 1,7 до 12 ПДК по различным коллекторам в разные периоды) и ионы натрия (от 1,7 до 3,7 ПДК).

Преобладающими ионами в воде коллекторов Багаевского филиала также являются сульфат-анионы (от 3 до 24 ПДК по различным коллекторам в разные периоды) и катионы натрия (от 1,2 до 5 ПДК).

Исследованиями установлено, что в последние годы наиболее чистой является дренажная вода в коллекторах ЛС-2 и БГ-МС-10, наиболее загрязненной – в коллекторах К-3, БГ-МС-3 и БГ-МС-5.

Высокое содержание сульфатов и натрия в коллекторно-дренажных водах объясняется гидрохимическим составом грунтовой воды, избыточное количество которой отводится по дренам и коллекторам. По данным [13], подземные воды в районе исследования относятся

к зоне сульфатно-гидрокарбонатного и сульфатного типов с разнообразным катионным составом. Повышенное содержание сульфатов в грунтовых

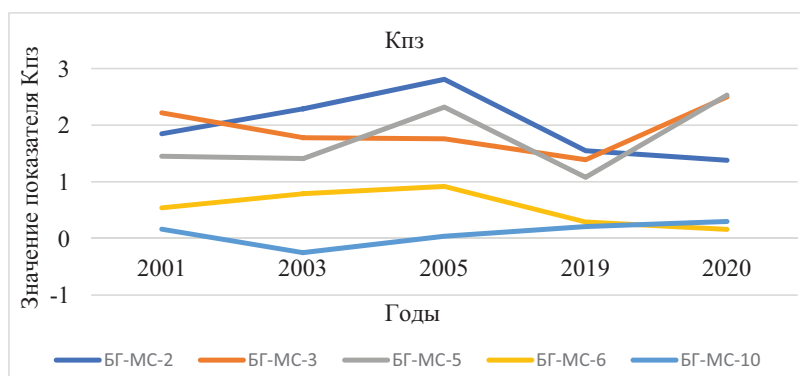


Рис. 2. Динамика коэффициента предельной загрязненности дренажно-сбросной воды в коллекторах Багаевского филиала

Fig. 2. Dynamics of the coefficient of maximum pollution of drainage and waste water in the collectors of the Bagaevsky branch

водах обусловлено главным образом естественным выщелачиванием из вмещающих пород [13, 14].

Исследование коллекторно-дренажной воды на содержание биогенных элементов в 2021 г. показало, что в коллекторах К-3, ЛС-2, МКЛ-7 Семикаракорского филиала на протяжении всего поливного периода отмечалось превышение содержания фосфатов от 1,1 до 2,5 ПДК, в коллекторе БГ-МС-5 Багаевского филиала содержание фосфатов колебалось от 1,35 до 1,9 ПДК (табл. 2).

Данные исследований свидетельствуют о вымывании фосфатов

Таблица 2. Соотношение концентраций нитритов, нитратов и фосфатов с ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (по данным 2021 г.)

Table 2. The ratio of nitrite, nitrate and phosphate concentrations to the MPC for fishery water bodies (according to the 2021 data)

Показатель <i>Indicator</i>	ПДК _{рх} , мг/дм ³ <i>MPC_{рх}, mg/dm³</i>	C _i /ПДК _i / C _i /MPC _i			
		Июнь <i>June</i>	Июль <i>July</i>	Август <i>August</i>	Сентябрь <i>September</i>
К-3					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,6	0,11	0,4	0,125
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,01	0,01	0,02	0,01
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	2,15	2,3	1,65	1,1
ЛС-2					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,11	0,16	0,125	0,08
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,01	0,01	0,01	0,01
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	2,15	2,3	1,00	1,5
МКЛ-7					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,125	0,113	0,175	0,075
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,009	0,012	0,017	0,008
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	2,1	2,5	1,55	1,25
БГМС-3					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,425	0,112	0,625	0,825
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,04	0,04	0,048	0,03
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	0,35	0,6	0,3	0,85
БГМС-5					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,36	0,36	0,487	0,35
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,025	0,010	0,015	0,015
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	1,35	1,9	1,4	0,9
БГМС-6					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,225	0,25	0,35	0,025
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,017	0,008	0,009	0,0025
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	1,6	0,34	0,3	0,15
БГМС-10					
Нитриты / <i>Nitrites</i>	0,08	0,225	0,375	0,36	0,025
Нитраты / <i>Nitrates</i>	40,0	0,022	0,012	0,013	0,004
Фосфаты / <i>Phosphates</i>	0,2	1,1	0,9	0,25	0,1

из почвы и поступлении их в дренажный сток, указывая, кроме того, косвенно на внесение высоких доз фосфорных удобрений.

Выводы

1. Сравнительный анализ качества природной воды водоприемников КДВ в фоновых створах и коллекторно-дренажных вод показал, что гидрохимический состав исследуемых вод является примерно одинаковым, что свидетельствует о слиянии водных объектов и открытых коллекторов в земляном русле в единую гидрографическую сеть. В 25% исследованных коллекторов наблюдалось более низкое качество воды, чем в водоприемнике.

2. Качество коллекторно-дренажного стока в магистральных каналах Семикаракорского филиала на протяжении последних 10 лет не изменилось. По качеству вода характеризуется как умеренно загрязненная, близкая к чистой,

за исключением коллектора К-3, для которого $K_{из}$ возрос с 0,304 (вода умеренно загрязненная, близка к чистой) до 2,15 (вода загрязненная). В коллекторных каналах Багаевского филиала качество дренажного стока по коэффициенту предельной загрязненности хуже, чем для Семикаракорского филиала.

3. Преобладающими ионами в дренажном стоке являются сульфаты и натрия, причем содержание сульфатов колеблется в интервале 1,7...24 ПДК, натрия – в пределах 1,7...5 ПДК. Высокое содержание сульфатов в дренажном стоке обусловлено привносом от сульфатных грунтовых вод, характерных для данного региона.

4. Исследование коллекторно-дренажной воды в коллекторах Семикаракорского и Багаевского филиалов на содержание биогенных элементов в 2021 г. показало регулярное превышение фосфатов от 1,1 до 2,5 ПДК в течение всего поливного периода.

Список использованных источников

1. Посевные площади сельскохозяйственных культур в Российской Федерации: Статистический сборник. [Электронный ресурс]. URL: <https://gks.ru/folder/11110/document/13277> (дата обращения: 15.02.2023).
2. Kireycheva L.V., Glazunova I.V. Technical Solution on Irrigation Systems for Treated Drainage flow Re-using // 20th International Congress on Irrigation and Drainage and 59th International Executive Council Meeting on 13-18 October, 2008. Lahore, Pakistan.
3. Кирейчева Л.В. Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий // Природообустройство. 2015. № 5. С. 64-69.
4. Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 2(22). С. 112-127. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec414-field6.pdf (дата обращения: 15.02.2023).
5. Безднина С.Я. Качество воды для орошения. Принципы и методы оценки. М.: Рома, 1997. 185 с.
6. Insights into the use of phytoremediation processes for the removal of organic micropollutants from water and wastewater; a review / W. Polńska, U. Kotowska, D. Kiejza, J. Karpińska // Water (Switzerland). 2021. № 13(15). 2065.
7. Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «РАДУГА». [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/user/login?ysclid=le6ra63ujm640391037> (дата обращения: 10.02.2023).
8. Дровозова Т.И., Паненко Н.Н., Манжина С.А. Оценка пригодности воды из открытых коллекторов Семикаракорского района Ростовской области для орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 3 (39). С. 154-169. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1144-field12.pdf (дата обращения: 11.02.2023).

References

1. Sown areas of agricultural crops in the Russian Federation: statistical collection [Electronic resource] – URL: <https://gks.ru/folder/11110/document/13277> (date accessed: 15.02.2023).
2. Kireycheva L.V., Glazunova I.V. Technical Solution on Irrigation Systems for Treated Drainage flow Re-using // 20th International Congress on Irrigation and Drainage and 59th International Executive Council Meeting on 13-18 October, 2008. Lahore, Pakistan.
3. Kireicheva L.V. Main directions of reducing the anthropogenic load on water objects by reducing the discharge of drainage waters from reclaimed territories. Prirodoobustroystvo. 2015. № 5. P. 64-69.
4. Domashenko Y.E., Vasilyev S.M. Modeling and assessment of the flow of pollutants into the collector-drainage runoff // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [Electronic resource]. 2016. No 2 (22). P. 112-127. Available at: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec414-field6.pdf (accessed: 15.02.2023).
5. Bezdina S.Ya. Quality of water for irrigation. Principles and methods of evaluation. Moscow: Roma, 1997. 185 p.
6. Insights into the use of phytoremediation processes for the removal of organic micropollutants from water and wastewater; a review / W. Polńska, U. Kotowska, D. Kiejza, J. Karpińska // Water (Switzerland). 2021. № 13(15). 2065.
7. Information portal of FSBI VNII "RADUGA" [Electronic resource] – URL: <https://inform-raduga.ru/user/login?ysclid=le6ra63ujm640391037> (accessed 10.02.2023).
8. Drovozova T.I., Panenko N.N., Manzhina S.A. Assessment of the suitability of water from open collectors of the Semikarakorsky district of the Rostov region for irrigation // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [Electronic resource]. 2020. No3 (39). P. 154-169. Available at: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1144-field12.pdf (accessed: 11.02.2023).

9. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: Коллективная монография / Под рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=5343f69c-d0c9-4708-8a51-ab441506fbf8> (дата обращения: 15.02.2023).

10. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем: монография. М.: МГУП, 2009. 154 с.

11. Вершинская М.Е., Шабанов В.В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водосбора и водных объектов в бассейне Иртыша // Природообустройство. 2008. № 2. С. 50-57.

12. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552. [Электронный ресурс]. URL: docs.cntd.ru/document/420389120.

13. Зубков Е.А. Гидрохимический режим и загрязненность грунтовых вод на застроенных территориях юга Ростовской области / Е.А. Зубков, Д.Н. Гарькуша, О.Б. Барцев и др. // Материалы II Международной конференции «Экология. Экономика. Информатика». Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. Т. 2. С. 251-256.

14. Зубков Е.А. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов: Дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2017. 185 с.

Критерии авторства

Дрововозова Т.И., Манжина С.А. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 21.02.2023

Одобрена после рецензирования 18.05.2023

Принята к публикации 18.05.2023

9. Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions: collective monograph / Under the direction of V.I. Danilova-Danilyana. Moscow: RAS, 2020. 512p. [Electronic resource] – URL: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=5343f69c-d0c9-4708-8a51-ab441506fbf8> (date accessed: 15.02.2023).

10. Shabanov V.V., Markin V.N. Method for assessing water quality and the state of aquatic ecosystems: monograph Moscow: MGUP, 2009. 154 p.

11. Vershinskaya M.E., Shabanov V.V., Markin V.N. Ecological and water management assessment of catchment and water objects in the Irtysh basin // Prirodobustroystvo. 2008. No. 2. P. 50-57.

12. On approval of water quality standards for water objects of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water objects of fishery significance: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552 [Electronic resource]. – URL: docs.cntd.ru/document/420389120.

13. Zubkov E.A. Hydrochemical regime and pollution of groundwater in the built-over areas of the south of the Rostov region / E.A. Zubkov, D.N. Garjkusha, O.B. Bartsev and others. // Materials of II International conference «Ecology. Economy. Information science». R/on Don: Publishing house YuFU. 2014. Volume. 2. P. 251-256

14. Zubkov E.A. Groundwater in the south of the Rostov region and their impact on flooding of settlements. Dis. Cand. Geogr. Sciences. R / on Don. 2017. 185 p.

Criteria of authorship

Drovovozova T.I., Manzhina S.A. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 21.02.2023

Approved after reviewing 18.05.2023

Accepted for publication 18.05.2023

Оригинальная статья

УДК 631.6

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-66-71



ПАРАМЕТРЫ ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И КОНСТРУКЦИЯ УЗЛА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «КАСКАД 65Т»

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

ORCID:0000-0003-0511-2880; SPIN-код: 2979-8413; ПИНЦИД:673823; Scopus:57473511100; WOSResearchID: AGN-4580-2022; solovevda@bk.ru

Горюнов Дмитрий Геннадьевич¹, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-6208-640X; SPIN-код: 3886-9988; md111@bk.ru

Грепечук Юрий Николаевич¹, младший научный сотрудник

SPIN-код: 4262-6181; ПИНЦИД ID: 939738; Scopus: 572053797054; WOSResearchID: ACW-1400-2022; Yuri@Grepchuk.ru

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

ORCID: 0000-0001-7826-3773; SPIN-код: 2738-5137; ПИНЦИД: 323776; Scopus: 57220182022; WOSResearchID: AAF-6639-2021; zagorujko.misha2013@yandex.ru

Кузнецов Роман Евгеньевич³, проектировщик

nicfigvam@mail.ru

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

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

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

Аннотация. Рассматривается обоснование параметров закрытой оросительной сети и конструктивных особенностей узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т». Трубопровод закрытой оросительной сети дождевальной машины должен обеспечивать транспортировку необходимого объема воды с минимальными потерями напора. Подводящий трубопровод закрытой оросительной сети должен иметь следующие минимальные параметры. Для машин длиной до 506 м и с расходом от 33 до 64,4 л/с подводящий трубопровод закрытой оросительной сети должен выполняться из трубы не менее Ø225 × 8,6 мм ПЭ 100 SDR26 PN6. Для машин длиной до 315 м и с расходом до 33 л/с подводящий трубопровод закрытой оросительной сети может быть выполнен из трубы не менее Ø180 × 6,9 мм ПЭ 100 SDR26 PN6. Для подключения дождевальной машины к гидранту закрытой оросительной сети требуются управляемая электрическая задвижка Ду200, фильтр грубой очистки воды и регулятор давления. Пропускная способность фильтра должна составлять не менее 250 м³/ч, а диаметр отверстий фильтрующей сетки должен быть меньше или равен 3,0 мм. Регулятор давления должен обеспечивать регулировку давления в пределах от 0,21 до 0,45 Мпа, его устанавливают после фильтра, перед входом в машину. Рекомендуется использовать специализированные фильтры для очистки оросительной воды Р65-3-10-Ду200, Р76-3-10-Ду200. Фильтр Р65-3-10-Ду200 имеет регулировку по высоте и входит в комплект поставки дождевальной машины «Каскад 65Т». В качестве регулирующей арматуры рекомендуется использовать редукторы Nelson 800 Series 6 или 8.

Ключевые слова: мелиорация, дождевальная машина, закрытая оросительная сеть, узел подключения, фильтр грубой очистки

Формат цитирования: Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Грепечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. Параметры закрытой оросительной сети и конструкция узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т» // Природообустройство. 2023. № 2. С. 66-71. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-66-71.

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

Original article

PARAMETERS OF THE CLOSED IRRIGATION NETWORK AND DESIGN OF THE CONNECTION UNIT OF THE SPRINKLER MACHINE «CASCADE 65T»

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

ORCID:0000-0003-0511-2880; SPIN-код: 2979-8413; ПИНЦИД:673823; Scopus:57473511100; WOSResearchID: AGN-4580-2022; solovevda@bk.ru

Goryunov Dmitry Gennadyevich¹, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

ORCID: 0000-0001-6208-640X; SPIN-код: 3886-9988; md111@bk.ru

Grepechuk Yuriy Nikolayevich¹, *Junior Researcher*

SPIN-код: 4262-6181; PIИД ID: 939738; Scopus: 572053797054; WOS Research ID: ACW-1400-2022; Yuri@Grepechuk.ru

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

zagorujko.misha2013@yandex.ru

Kuznetsov Roman Evgenyevich³, *Designer*

nicfigvam@mail.ru

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, 1a Teatralnaya Square. Russia

² Federal Research Center for Agroengineering of VIM; 109428, Moscow, 1 Institutsky Proezd, 5. Russia

³ OOO LandshaftStroyServis; 410039, Saratov, Krymsky pr, 9. Russia

Annotation. The article considers the justification of the parameters of the closed irrigation network and the design features of the connection unit of the Cascade 65T sprinkler machine. The pipeline of the closed irrigation network of the sprinkler machine must ensure the transportation of the required volume of water with minimal pressure losses. The supply pipeline of the closed irrigation network must have the following minimum parameters: for machines up to 506 m long and with a flow rate from 33 to 64.4 ls, the supply pipeline of the closed irrigation network must be made of a pipe of at least $\varnothing 225 \times 8.6$ mm PE100 SDR26 PN6. For machines up to 315 m long and with a flow rate of up to 33 ls, the supply pipeline of a closed irrigation network can be made of a pipe of at least $\varnothing 180 \times 6.9$ mm PE100 SDR26 PN6. To connect the sprinkler machine to the hydrant of a closed irrigation network, a controlled electric valve Du200, a coarse water filter and a pressure regulator are required. The filter capacity should be at least 250 m³/h, and the diameter of the holes of the filter mesh should be less than or equal to 3.0 mm. The pressure regulator must provide pressure adjustment in the range from 0.21 to 0.45 MPa. It is installed after the filter, before entering the machine. It is recommended to use specialized filters for cleaning irrigation water P65-3-10- Du200, P76-3-10- Dy200. Filter P65-3-10- The DU200 has height adjustment and is included in the delivery package of the Cascade 65T sprinkler machine. It is recommended to use Nelson 800 Series 6` or 8` gearboxes as control valves.

Keywords: reclamation, sprinkler machine, closed irrigation network, connection unit, coarse filter

Format of citation: Solovyev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N., Zagoruyko M.G., Kuznetsov R.E. Parameters of closed irrigation network and design of connection unit of sprinkler machine "Cascade 65T" // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 66-71. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-66-71.

Введение. В условиях засушливого климата сельское хозяйство оказывается неспособным обеспечить высокие урожаи без орошения. Для полива сельскохозяйственных культур в Саратовском Заволжье традиционно применяют широкозахватные дождевальные машины. Если раньше парк дождевальных машин обновлялся в основном за счет зарубежной техники, то в последние годы все больше внедряются отечественные разработки [1-3]. Наиболее интересной, на наш взгляд, является широкозахватная дождевальная машина (далее – ДМ) «Каскад 65Т», разработанная учеными ФГБОУ ВО «Вавиловский университет». Конструкция и технические характеристики ДМ «Каскад 65Т», рассматривались нами ранее [4, 5].

Целью исследований является обоснование параметров закрытой оросительной сети и конструктивных особенностей узла подключения ДМ «Каскад 65Т».

Материалы и методы исследований. Исследования основываются на материалах

и данных, отраженных в работах [3-7]. Используются аналитические и экспериментальные методы исследований с применением современных методик и оборудования. Полевые исследования проводились на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО «Вавиловский университет» (с. Степное Энгельского района Саратовской области), УНПК Агроцентр Вавиловского университета.

Результаты и их обсуждение. Трубопровод закрытой оросительной сети дождевальной машины «Каскад 65Т» должен обеспечивать транспортировку необходимого объема воды с минимальными потерями напора. Согласно проведенным исследованиям при условии, что дождевальная машина является единственным потребителем, подводящий трубопровод закрытой оросительной сети должен иметь следующие минимальные параметры.

Для машин длиной до 506 м и с расходом от 33 до 64,4 л/с подводящий трубопровод закрытой оросительной сети выполняется из трубы не менее $\varnothing 225 \times 8,6$ мм ПЭ 100 SDR26 PN6.

Для машин длиной до 315 м и с расходом до 33 л/с подводный трубопровод закрытой оросительной сети может быть выполнен из трубы не менее $\varnothing 180 \times 6,9$ мм ПЭ 100 SDR26 PN6.

Для подключения дождевальной машины к гидранту закрытой оросительной сети (рис. 1, 2) требуются управляемая электрическая задвижка Ду200, фильтр грубой очистки воды и регулятор давления. Пропускная способность фильтра должна составлять не менее 250 м³/ч, а диаметр отверстий фильтрующей сетки должен быть меньше или равен 3,0 мм (табл.). Регулятор давления должен обеспечивать регулировку давления в пределах от 0,21 до 0,45 Мпа, его устанавливают после фильтра, перед входом в машину.

Рекомендуется использовать специализированные фильтры для очистки оросительной воды Р65-3-10-Dy200, Р76-3-10-Dy200 или их аналог Clemons 1200A. Фильтр Р65-3-10-Dy200 имеет регулировку по высоте и входит в комплект поставки дождевальной машины «Каскад 65Т». В качестве регулирующей арматуры рекомендуется использовать редукторы Nelson 800 Series 6" или 8". Допускается установка задвижек типа «Баттерфляй». Также для дождевальных машин с расходом менее 30 л/с возможно применение запорной арматуры Dy150.

Установку фильтра грубой очистки (рис. 3) [6-8] производят между электрической задвижкой оросительной сети и дождевальной машиной в месте, доступном для осмотра и технического обслуживания. Направление потока должно совпадать со стрелкой на корпусе фильтра.

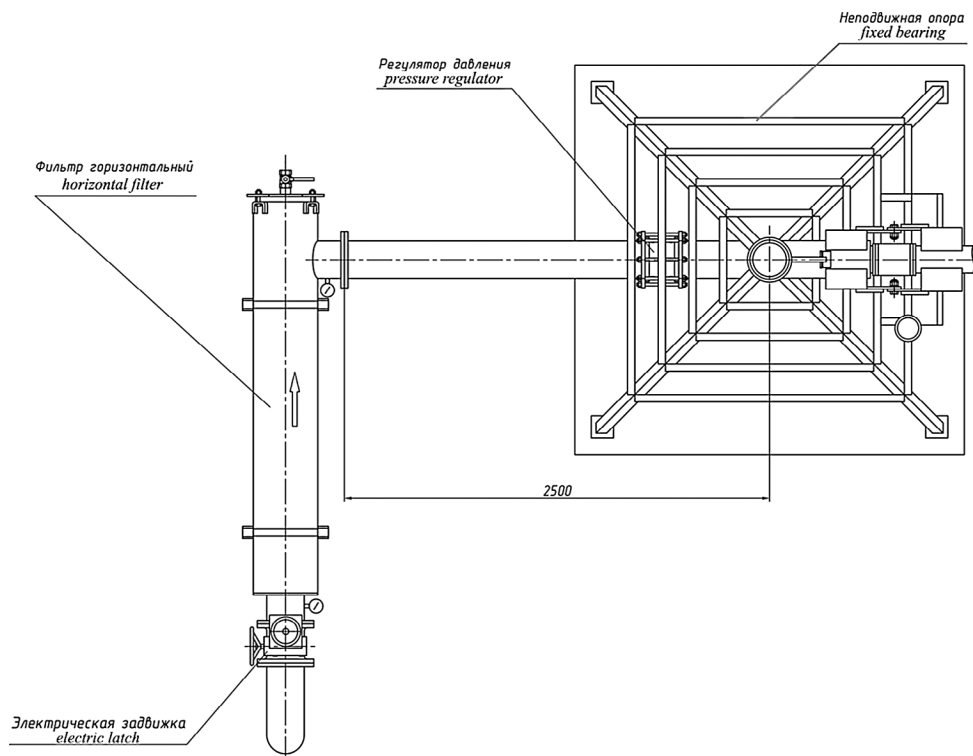


Рис. 1. Узел подключения неподвижной опоры (исполнение А) к оросительной сети

Fig. 1. Unit of connection of the fixed support (version A) to the irrigation network

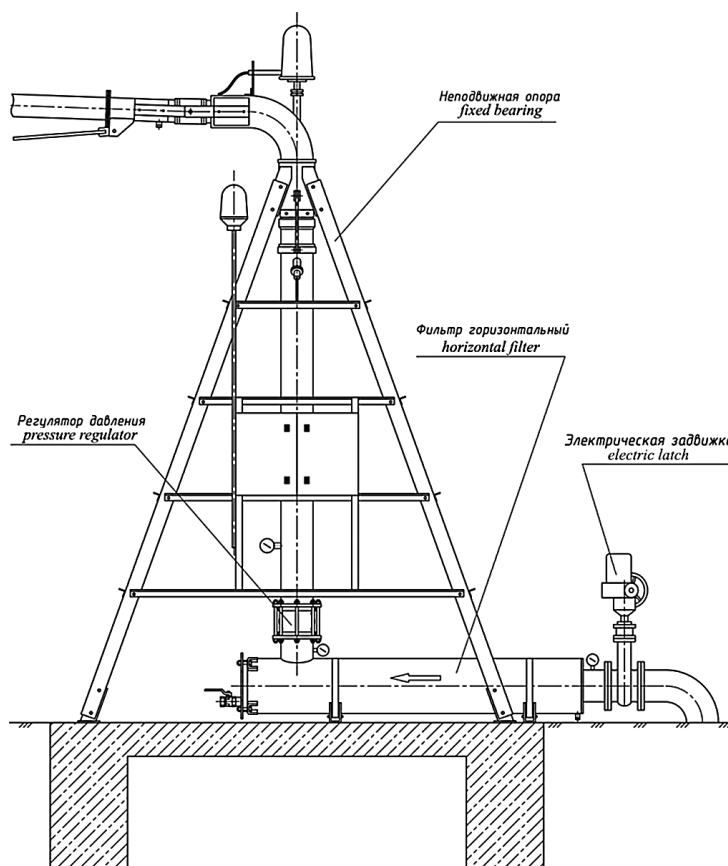


Рис. 2. Узел подключения неподвижной опоры (исполнение Б) к оросительной сети

Fig. 2. Unit for connection of the fixed support (version B) to the irrigation network

Таблица. Технические требования к фильтру грубой очистки воды

Table. Technical requirements to the coarse water filter

Диаметр отверстий фильтрующей сетки, мм <i>Hole diameter of the filter mesh, mm</i>	≤3,0
Пропускная способность фильтра, м³/ч / <i>Filter throughput, m³ / h</i>	не менее 250 / <i>no less than 250</i>
Давления воды, при котором обеспечивается нормальный режим эксплуатации фильтра, МПа <i>The water pressure at which the normal operation of the filter is ensured, MPa</i>	до 0,75 <i>up to 0.75</i>
Максимальное давление воды, которое способен безопасно выдерживать фильтр в процессе работы, МПа <i>The maximum water pressure that the filter can safely withstand during operation, MPa</i>	1,0
Гидравлическое сопротивление чистого фильтра, МПа <i>Hydraulic resistance of the clean filter, MPa</i>	0,005
Исполнение фильтра / <i>Filter design</i>	Горизонтальное / <i>Horizontal</i>
Фланцевое соединение / <i>Flange connection</i>	Ду 200 ГОСТ 12820-80 <i>Dy 200 GOST 12820-80</i>
Проходное сечение фильтрующего элемента, см² <i>Flow-through section of the filter element, cm²</i>	не менее 560 / <i>at least 560</i>
Материал фильтрующего элемента / <i>Filter element material</i>	нержавеющая сталь / <i>stainless steel</i>
Кран для промывки фильтра / <i>Filter flushing tap</i>	не менее 2 / <i>no less than 2</i>
Штуцеры для монтажа манометров <i>Fittings for mounting pressure gauges</i>	на входном и выходном патрубке <i>at the inlet and outlet pipe branch</i>
Штуцер для слива воды / <i>Water drain fitting</i>	1/2" или 3/4" / <i>1/2" or 3/4"</i>
Антикоррозионное покрытие корпуса <i>Corrosion-resistant coating of the body</i>	горячее цинкование <i>hot galvanizing</i>
Диапазон рабочих температур фильтра, °С <i>Filter operating temperature range, °C</i>	от 5 до 45 / <i>from 5 to 45</i>

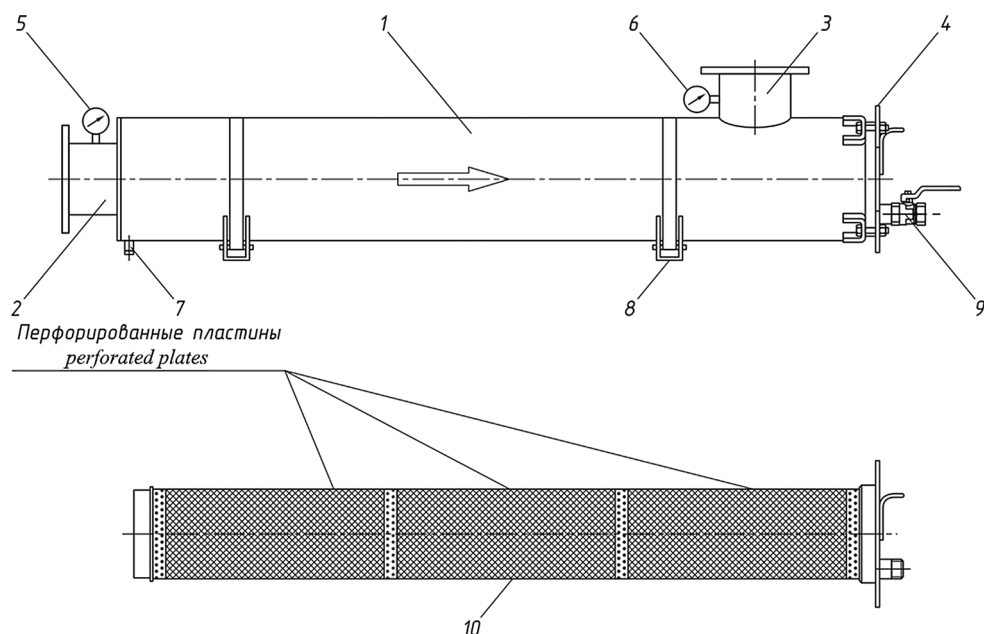


Рис. 3. Фильтр горизонтального исполнения:

- 1 – корпус фильтра; 2 – входной патрубок; 3 – выходной патрубок; 4 – крышка;
5, 6 – манометры; 7 – штуцер для слива воды; 8 – опорная лапа;
9 – кран для промывки фильтра; 10 – фильтрующий элемент

Fig. 3. Filter of horizontal version:

- 1 – filter body; 2 – inlet pipe; 3 – outlet pipe; 4 – cover; 5, 6 – pressure gauges;
7 – water drain fitting; 8 – supporting foot; 9 – filter flushing tap; 10 – filtering element

Фильтр грубой очистки оросительной воды [6] имеет цилиндрический корпус. С одной стороны корпуса, по центру, расположен входной патрубок. Перпендикулярно продольной оси корпуса размещен выходной патрубок, который снабжен обоймой с уплотнительной манжетой. Входной и выходной патрубки оснащены присоединительными фланцами и штуцерами с манометрами. В корпусе установлена извлекаемая кассета, содержащая крышку, на внутренней стороне которой расположен переходной цилиндр, к которому присоединен фильтрующий элемент, образованный из свернутых в цилиндры перфорированных листов нержавеющей стали, последовательно соединенных друг с другом. На фильтрующем элементе расположена обойма с уплотняющей манжетой. Крышка кассеты соединена с корпусом посредством болтовых соединений и снабжена краном для промывки фильтра. Корпус оснащен штуцером для слива воды, размещенным в нижней его части, со стороны входного патрубка. Расположенная на фильтрующем элементе обойма под уплотняющую манжету выполнена сварной и оснащена двумя опорными лыжами и направляющими, обеспечивающими ее центровку в процессе стыковки с входным патрубком, расположенным внутри корпуса. Края соседних цилиндров, образованных из свернутых перфорированных листов нержавеющей стали, установлены внахлест друг на друга и соединены с короткими цилиндрическими муфтами посредством заклепок. На корпусе фильтра установлены опоры регулируемые по высоте лапами.

Фильтр обеспечивает очистку оросительной воды от взвешенных органических и неорганических частиц, твердых механических примесей и мусора. Установка фильтра не отменяет необходимость осуществления предварительной очистки воды на водозаборе насосных станций [9, 10].

Использование фильтра позволяет защитить регулируемую арматуру и водопроводящие части дождевальных машин от воздействия

твердых частиц, вызывающих износ антикоррозионного покрытия и узлов машины, а также от образования засоров, осадков и отложений, приводящих к поломкам и нарушению работы дождевальной техники.

В процессе эксплуатации необходимо периодически производить очистку фильтра от накопившихся загрязнений. Контроль степени загрязнения фильтра осуществляется по разности входного и выходного давления. Рекомендуется производить очистку фильтра при перепаде давления не более 0,05 МПа.

Для полной очистки фильтр разбирают и извлекают фильтрующий элемент. Сетка фильтрующего элемента промывается струей воды и очищается мягкой щеткой. Разборка и обслуживание фильтра производятся только при отсутствии давления в трубопроводе.

Выводы

Определены параметры подводящего трубопровода и конструктивные особенности узла подключения к гидранту закрытой оросительной сети ДМ «Каскад 65Т», обеспечивающие ее эффективную работу.

1. Для машин длиной до 506 м и с расходом от 33 до 64,4 л/с подводящий трубопровод закрытой оросительной сети должен выполняться из трубы не менее $\varnothing 225 \times 8,6$ мм ПЭ 100 SDR26 PN6; для машин длиной до 315 м и с расходом до 33 л/с – из трубы не менее $\varnothing 180 \times 6,9$ мм ПЭ 100 SDR26 PN6.

2. Узел подключения ДМ «Каскад 65Т» к гидранту закрытой оросительной сети должен иметь:

– электрическую задвижку Dy200, для дождевальных машин с расходом менее 30 л/с возможно применение запорной арматуры Dy150;

– фильтр грубой очистки спрpusкной способностью не менее $250 \text{ м}^3/\text{ч}$, диаметр отверстий фильтрующей сетки – меньше или равен 3,0 мм;

– регулятор давления, обеспечивающий регулировку в пределах от 0,21 до 0,45 МПа.

References

1. Semenenko S.Y., Abezin V.G., Loboyko V.F. Development of sprinkler aggregate design with improved agrotechnological performance // Proceedings of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. – 2017. № 1(45). P. 188-196.

2. Gurba A.V. Analysis of the Russian sprinkler fleet and its development prospects // Irrigated agriculture. 2017. No. 1. P. 21-22.

3. Solovyev D.A. The relevance of the use of sprinkler machines in areas of risky agriculture on the example of the Saratov region / Kuznetsov R.E., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N. // Scientific life. 2022. No. 4. P. 507-514.

Список использованных источников

1. Семененко С.Я., Абезин В.Г., Лобойко В.Ф. Разработка конструкции дождевального агрегата с улучшенными агротехнологическими показателями // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1(45). С. 188-196.

2. Гурба А.В. Анализ парка дождевальных машин России и перспективы его развития // Орошаемое земледелие. 2017. № 1. С. 21-22.

3. Соловьев Д.А. Актуальность применения дождевальных машин в зонах рискованного земледелия на примере Саратовской области / Кузнецов Р.Е.,

Горюнов Д.Г., Гречечук Ю.Н. // Научная жизнь. 2022. № 4. С. 507-514.

4. **Соловьев Д.А.** Дождевальная машина «Каскад 65Т» для решения проблемы импортозамещения в мелиорации / Кузнецов Р.Е., Горюнов Д.Г., Гречечук Ю.Н. // Научная жизнь. 2022. № 5. С. 648-658.

5. **Соловьев Д.А., Журавлева Л.А.** Роботизированный оросительный комплекс «Каскад» // Аграрный научный журнал. 2020. № 1. С. 74-78.

6. Патент № 2754318, Российская Федерация, МПК В01Д29/11 (2006.01). Фильтр грубой очистки оросительной воды: № 2020127454, заявл. 18.08.2020: опубл. 01.09.2021, Бюл. № 25 / Соловьев Д.А., Кузнецов Р.Е., Лонькин А.П., Колганов Д.А., Марынова Т.А.; заяв. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». 25 с.: ил.

7. Патент № 2782568, Российская Федерация, МПК В01Д29/11 (2006.01), В01Д29/15 (2006.01), В01Д29/33 (2006.01). Фильтр грубой очистки оросительной воды. № 2021133265, заявл. 15.11.2021; 1.10.2022 Бюл. № 31 / Кузнецов Р.Е., Соловьев Д.А., Колганов Д.А.; заяв. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». 38 с.: ил.

8. **Загоруйко М.Г., Елисеев М.С., Васильчиков В.В.** Оптимизация геометрических параметров элементов строительных конструкций на этапе их проектирования с помощью технологий 3d-прототипирования // Аграрный научный журнал. 2017. № 1. С. 45-48.

9. **Мальшева В.А., Требев А.Ю.** Существующие средства гидравлической очистки закрытых трубопроводов оросительных сетей // Наука и молодежь: сборник научных трудов. Новочеркасск. 2018. Т. 5. С. 39-44.

10. **Новиков А.Е.** Техно-экономическая оценка эффективности модернизации оросительной системы фильтрующими гидроциклонами / Ламскова М.И., Филимонов М.И., Бородычев С.В. // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий: мат-лы Междун. юбилейной научно-практ. конф.. 2019. Т. 2. С. 272-279.

Критерии авторства

Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Гречечук Ю.Н. Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 11.01.2023

Одобрена после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 13.03.2023

4. **Solovyev D.A.** Sprinkler machine «Cascade 65T» for solving the problem of import substitution in land reclamation / Kuznetsov R.E., Goryunov D.G., Grepechuk Yu. N. // Scientific life. 2022.No. 5. P. 648-658.

5. **Solovyov D.A., Zhuravleva L.A.** Robotized irrigation complex «Cascade» // Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 1. P. 74-78.

6. **Patent No.** 2754318 Russian Federation, IPC B01D29/11 (2006.01). Filter of coarse purification of irrigation water: No. 2020127454, application No. 18.08.2020: publ. 01.09.2021 Byul. No. 25 // Solovyev D.A., Kuznetsov R.E., Lonkin A.P., Kolganov D.A., Marynova T.A.; applicant of the Saratov State Agrarian University. 25 p.: il.

7. **Patent No.** 2782568 Russian Federation, IPC B01D29/11 (2006.01), B01D29/15 (2006.01), B01D29/33 (2006.01). Filter of coarse purification of irrigation water. No. 2021133265, application No. 15.11.2021: 31.10.2022 Byul. No. 31 // Kuznetsov R.E., Solovyov D.A., Kolganov D.A.; applicant of the Saratov State Agrarian University. 38 p.: ill.

8. **Zagoruiko M.G., Eliseev M.S., Vasilchikov V.V.** Optimization of geometric parameters of elements of building structures at the stage of their design using 3d prototyping technologies // Agrarian scientific journal. 2017. No. 1. P. 45-48.

9. **Malysheva V.A., Trebezov A.Yu.** Existing means of hydraulic cleaning of closed pipelines of irrigation networks // Science and Youth. Collection of scientific works. Novocherkassk. 2018. VOL. 5. P. 39-44.

10. **Novikov A.E., Lamskova M.I., Filimonov M.I., Borodychev S.V.** Technical and economic evaluation of the efficiency of irrigation system modernization by filtering hydrocyclones // Problems of agricultural land reclamation and water management complex based on digital technologies. Materials of the international jubilee scientific and practical conference. 2019. V 2. P. 272-279

Criteria of authorship

Solovyev D.A., Goryunov D.G., Zagoruyko M.G., Kuznetsov R.E. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 11.01.2023

Approved after reviewing 15.02.2023

Accepted for publication 13.03.2023

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

УДК 627.843:69.05

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-72-80

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭШКАКОНСКОГО ГИДРОУЗЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ****Волосухин Виктор Алексеевич** , д-р техн. наук, профессор

ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus AuthorID57201781001; РИНЦ AuthorID290467; SPIN-код 3214-4973; director@ibgts.ru; 8 (928) 214-75-11

Бандурин Михаил Александрович , д-р техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus AuthorID57201780087; РИНЦ AuthorID518464; WOS Research ID: D-5293-2016; SPIN-код 6451-2467; chepura@mail.ru 8 (950) 855-76-40

Приходько Игорь Александрович, канд., техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-4855-0434; Scopus AuthorID57214098822; РИНЦ AuthorID970218; SPIN-код 4011-7185; prihodkoigor2012@yandex.ru

Руденко Артем Анатольевич, аспирант

ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus AuthorID57486226000; РИНЦ AuthorID1049046; SPIN-код 9649-8680; away704@gmail.com

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

Аннотация. Основная цель исследований заключается в определении значения риска аварии гидротехнических сооружений регулирующего водохранилища на р. Эшакон. Показатели риска возникновения аварии каменно-земляной плотины считались по двум сценариям как наиболее вероятным, подтвержденным результатами оценки состояния сооружений по данным комиссии по их обследованию, а также данными ранее имевших место аварийных ситуаций на других аналогичных объектах. Анализ конструктивных особенностей, показателей прочности, устойчивости и состояния гидротехнических сооружений Эшаконского гидроузла по данным проекта, поверочных расчетов и натурных наблюдений указывает на то, что наиболее уязвимым сооружением для воздействия факторов опасности природного и техногенного характера, способных вызвать гидродинамическую аварию, является каменно-земляная плотина. К качестве фактора природного воздействия на гидротехнические сооружения Эшаконского гидроузла может рассматриваться авария на плотине от сейсмического воздействия силой, превышающей расчетную величину. Выполняемые регулярные натурные наблюдения и исследования, техническое обслуживание и ремонтные мероприятия обеспечивают постоянное поддержание гидротехнических сооружений в работоспособном состоянии. Для локализации и ликвидации возможных опасных крупномасштабных повреждений и аварийных ситуаций на сооружениях материально-технических средств собственника объекта достаточно. Совершенствование технологии ликвидации аварий и усиление технических средств противоаварийного назначения достигаются проведением комплекса специальных мероприятий, включающих в себя организационные, профилактические, ремонтные и конструктивно-технические решения предотвращения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: мониторинг, техническое состояние, гидротехнические сооружения, надежность, сейсмические воздействия

Формат цитирования: Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Руденко А.А. Оценка технического состояния Эшаконского гидроузла при проведении мониторинга безопасной эксплуатации // Природообустройство. 2022. № 2. С. 72-80. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-72-80.

© Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Руденко А.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE ASHKAKON HYDROPOWER PLANT DURING THE MONITORING OF SAFE OPERATION

Volosukhin Viktor Alekseevich , Professor of the Department of Strength of Materials professor, doctor of technical sciences

ORCID: 0000-0001-9029-7802; Scopus AuthorID57201781001; PIIHQ AuthorID290467; SPIN-код 3214-4973; director@ibgts.ru

Bandurin Mikhail Aleksandrovich , Dean of the Faculty of Hydroreclamation, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences

ORCID: 0000-0002-0986-8848; Scopus AuthorID57201780087; PIIHQ AuthorID518464; WOS Research ID: D-5293-2016; SPIN-код 6451-246; chepura@mail.ru

Prihodko Igor Alexandrovich, Head of the Department of Construction and Operation of Water Facilities, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

ORCID: 0000-0003-4855-0434; Scopus AuthorID57214098822; PIIHQ AuthorID970218; SPIN-код 4011-7185; prihodkoigor2012@yandex.ru

Rudenko Artem Anatolyevich, Postgraduate Student

ORCID: 0000-0002-8724-6980; Scopus AuthorID57486226000; PIIHQ AuthorID1049046; SPIN-код 9649-8680; away704@gmail.com
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Annotation. An analysis of the design features, indicators of strength, stability and condition of the hydraulic structures of the Eshkakon hydroelectric complex according to the project data, verification calculations and field observations indicates that the most vulnerable structure to the impact of natural and man-made hazards that can cause a hydrodynamic accident is a rock-and-earth dam. As a factor of natural impact on the hydraulic structures of the Eshkakon hydroelectric complex, an accident at the dam from a seismic impact with a force exceeding the calculated value can be considered. Regular field observations and research, maintenance and repair activities carried out regularly ensure the constant maintenance of hydraulic structures in working condition. For the localization and liquidation of possible dangerous large-scale damage and emergencies at the facilities, the material and technical means of the owner of the facility are sufficient. Improvement of the technology of liquidation of accidents and strengthening of technical means of emergency protection is achieved by carrying out a set of special measures, including organizational, preventive, repair and structural and technical solutions for preventing accidents.

Keywords: monitoring, technical condition, hydraulic structures, reliability, seismic effects

Format of citation: Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prihodko I.A., Rudenko A.A. Assessment of the technical condition of the Eshkakonsky hydroelectric complex during monitoring of safe operation // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 72-80. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-72-80.

Введение. На Ставрополье в апреле 2023 г. недалеко от г. Пятигорска, на глубине 15 км произошло землетрясение магнитудой в 4,6 балла, это отголоски недавнего разрушительного землетрясения в Турции. В настоящее время возникает вопрос долгосрочного прогноза сейсмической опасности для гидротехнических сооружений, а именно карт детального сейсмического районирования и микрорайонирования территории. На юге России только в Республике Северная Осетия есть такие нормативные документы, в Республиках Дагестане и Чечне формируются программы для создания такого районирования.

Комплекс гидротехнических сооружений регулирующего водохранилища на р. Эшкаконе расположен в Карачаево-Черкесской республике на территории Кубанского бассейнового водного

управления и предназначен для снабжения водой питьевого качества г. Кисловодска и прилегающих поселков Малокарачаевского района Карачаево-Черкесской республики [1, 2]. Комплекс включает в себя такие сооружения, как каменно-земляная плотина, паводковый водосброс, водозаборные сооружения, строительно-эксплуатационный тоннель. Высота гребня плотины над уровнем моря составляет 1214,5 м [3, 4].

Район р. Эшкаконе расположен на границе континентальной климатической области Европейской территории России с климатической областью высокогорья Большого Кавказа [5]. В непосредственной близости от гидроузла населенных пунктов нет, в случае аварии в нижнем бьефе в зону возможного затопления в долинах рек Эшкаконе и Подкумок попадают следующие населенные пункты: с. Учкеев, с. Римгорское,

с. Джага, с. Красный Курган (КЧР); п. Садовая Долина, г. Кисловодск, г. Пятигорск, ст. Лысогорская, ст. Незлобная, г. Георгиевск (Ставропольский край); 3 железнодорожных моста и 28 автодорожных; 3 рекреационных водохранилища городов-курортов (Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск) [6, 7].

Материалы и методы исследований.

Определены значения риска аварии комплекса гидротехнических сооружений регулирующего водохранилища на р. Эшпакон. Показатели риска возникновения аварии каменно-земляной плотины определялись по двум сценариям как наиболее вероятным, подтвержденным результатами оценки состояния сооружений по данным комиссии по их обследованию, а также исходя из данных ранее имевших место аварийных ситуаций на других аналогичных объектах [8].

Долина р. Эшпакон прорезает толщу осадочных пород мезозойского возраста, а затем врезается в верхнепалеозойские гранитоиды. Свидетельством растущей тектонической активности на Кавказе являются многочисленные подземные толчки, которые сейсмологи регистрирует в последние годы. Район характеризуется фоновой сейсмичностью 8 баллов, при изыскательских работах на площадке гидроузла проведено сейсмическое микрорайонирование. В настоящее время склоны долины находятся в равновесном состоянии.

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

Паводковый водосброс – открытый, vyplненный из железобетона, с боковым автоматическим водосливом практического профиля, с быстроток и консольным перепадом. В ходе проведенного визуального обследования паводкового водосброса были выявлены дефекты и повреждения, приведенные (рис. 1а). Представлено частичное разрушение железобетона вследствие атмосферных воздействий на паводковый водосброс, также образовались продольные трещины (рис. 1б), появились отслоения защитного слоя, отслоения бетона, образования как продольных, так и поперечных трещин, коррозии бетона и арматуры с последующие фильтрацией воды через данные повреждения. Приведенные дефекты и повреждения можно классифицировать как опасные [9].

Элементы паводкового водосброса в ходе продолжительной эксплуатации частично потеряли свою несущую способность, но продолжают выполнять в полном техническом объеме свои эксплуатационные качества, несмотря на приведенные дефекты и повреждения. Аварийные дефекты, угрожающие его эксплуатационным свойствам, на данном сооружении отсутствуют (рис. 2) [10].

По данным обследования, состояния бетона водосброса удовлетворительное. На поверхностях бетона трещины, каверны, отслоения защитного слоя, обнажения арматуры отсутствуют за исключением участка приемного бассейна в противоположной стороне от моста, где имеют место повреждения бетонной поверхности и обнажения арматуры. Статическая устойчивость водосброса обеспечивается в соответствии с нормами (основное сочетание нагрузок – $K_s = 2,0$; особое сочетание нагрузок – $K_s = 1,4$ при соответствующих нормативных значениях 1,20 и 1,08). Водозаборное сооружение (водоприемник) состоит из входного



Рис. 1. Обследование паводкового консольного водосброса:

а – общий вид; б – образование продольных трещин

Fig. 1. Inspection of the flood cantilever spillway:

a – general view; b – formation of longitudinal cracks

оголовка и наклонной галереи (рис. 3а). В ходе проведенного визуального обследования водозаборного сооружения были выявлены дефекты и повреждения, приведенные на рис. 3, б.

На рисунке 4а представлено частичное разрушение железобетона вследствие атмосферных воздействий на сооружение, также образовались продольные трещины (рис. 3б), появились

отслоения защитного слоя, отслоения бетона, коррозии бетона и арматуры с последующей фильтрацией воды через данные повреждения (рис. 4б). Приведенные дефекты и повреждения можно классифицировать как опасные.

Каменно-земляная плотина – с центральным ядром из суглинка и упорными призмами из каменной наброски и переходными зонами



Рис. 2. Дефекты паводкового консольного водосброса:

а – коррозия бетона; б – образование поперечных трещин с дальнейшей фильтрацией воды

Fig. 2. Defects of the flood cantilever spillway:

а – concrete corrosion; б – formation of transverse cracks, with further water filtration



Рис. 3. Обследование водозаборного сооружения:

а – общий вид; б – образование продольных трещин

Fig. 3. Inspection of the water intake structure:

а – general view; б – formation of longitudinal cracks

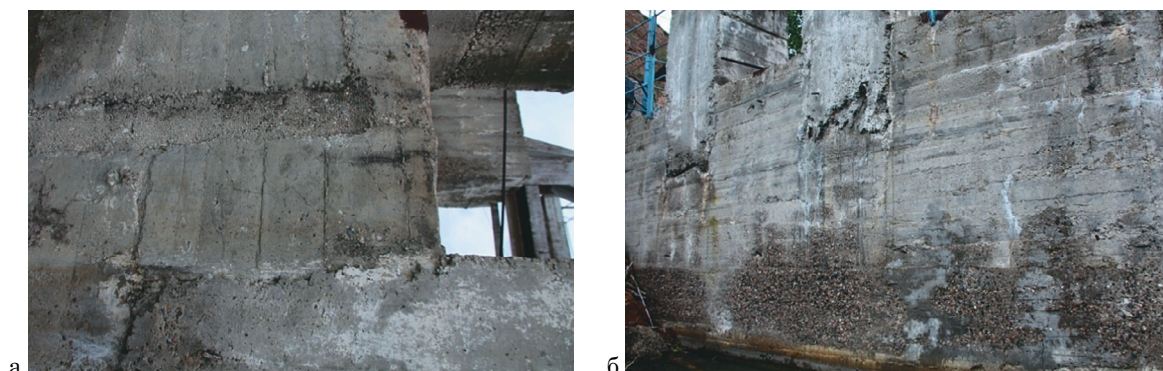


Рис. 4. Дефекты водозаборного сооружения:

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

Fig. 4. Defects of the water intake structure:

а – rusty streaks on the walls; б – erosion of concrete due to cavitation processes

из песчано-гравийных грунтов (рис. 5а). Длина плотины по гребню составляет 220 м, отметка гребня – 1214,5 м. Возведение плотины производилось «насухо» послойной укладкой и уплотнением грунтов. Переходные фильтровые зоны по граням ядра выполнены двухрядными. Откосы закреплены отборным крупнообломочным камнем (наброской). На низовом и верховом откосах на отм. 1174,5 м предусмотрены бермы шириной 5 м. Для повышения устойчивости плотины ее низовая призма от бермы до основания была расширена на 50 м присыпкой крупнообломочного грунта. Грунты основания – массивные прочные граниты. Сопряжение суглинистого ядра со скальным основанием осуществлено с помощью сплошной бетонной плиты, площадной цементации и цементационной завесы (двухрядной – до отметки 1100,0 м, однорядной – до отметки 1060,0 м).

По данным визуального обследования на гребне, бермах и откосах плотины, деформации просадочного или оползневого характера не отмечены (рис. 5б). Размывы крепления (наброска) на верховом откосе отсутствуют.

По данным инструментальных натурных наблюдений, работа и техническое состояние плотины характеризуются следующими показателями (рис. 6а) [11, 12]. Осадка гребня плотины происходит закономерно и имеет плавный затухающий во времени характер. В последние годы приращения осадки находятся в пределах 1-5 мм/год, что близко к пределу точности ее измерений. По длине плотины величина осадки гребня закономерно меняется практически пропорционально ее высоте в контрольных створах. За весь период наблюдений максимальная осадка гребня составила 216 мм и оценивается как незначительная для плотины высотой около 84 м (относительно высоты плотины максимальная осадка не превышает 0,25%). Поперечные сезонные горизонтальные смещения гребня плотины от изменяющейся гидротехнической нагрузки со стороны верхнего бьефа в настоящее время носят упругий характер, величины их для различных наблюдательных створов составляют от $\pm 1,0$ до ± 18 мм. Отсутствие роста необратимых горизонтальных смещений гребня характеризует работу



Рис. 5. Обследование каменно-земляной плотины:

а – общий вид; б – разрушение железобетона на стыках моста

Fig. 5. Examination of the rock-and-earth dam:

а – general view; б – destruction of reinforced concrete at the joints of the bridge



Рис. 6. Дефекты каменно-земляной плотины:

а – произрастание растительности; б – разрушение стыков облицовки

Fig. 6. Defects of the rock-and-earth dam:

а – growth of vegetation; б – destruction of the joints of the cladding

плотины по данному показателю как нормальную (рис. 6б).

По берегам Эшкаконского водохранилища возникают оползневые процессы вследствие повышенной фильтрации по берегам (рис. 7а). В ходе проведенного визуального обследования водохранилища были выявлены дефекты и повреждения. Оползневые процессы угрожают нормальной эксплуатации сооружения [13]. Приведенные дефекты и повреждения можно классифицировать как опасные (рис. 7б).

Строительно-эксплуатационный тоннель выполнен в прочной гранитной скале в левобережном массиве (рис. 8а). Он имеет длину 330 м, площадь поперечного сечения 15 м^2 , толщину железобетонной обделки 30 см. Внутри тоннеля уложены два стальных напорных трубопровода диаметром 600 мм, идущие от водозабора. Трубопроводы защищены железобетонной рубашкой. Общая длина трубопроводов от водозаборного сооружения до камеры переключения № 1-350,55 м. Водоприток в середине вызван обратной отдачей воды из застойных

зон, образовавшихся за обделкой под влиянием напорной фильтрации воды в местах монтажных стыков железобетонных колец (рис. 8б) [14, 15].

Обделка напорных водоводов имеет продольные трещины и сколы (рис. 9а). На участке без обделки имеют место следы незначительных вывалов горной породы. В целом состояние скальных стенок свода тоннеля является нормальным. Протечки фильтрующей воды в тоннель через скальный массив весьма незначительны – менее 1 л/с. Железобетонная и торкретная обделки заметных повреждений не имеют, хотя на бетоне обделки правобережной и левобережной цементационных штолен, подходной штольни имеют место следы выщелачивания (рис. 9б).

С водозаборных сооружений вода поступает в отстойники с комплексом реагентного хозяйства и проходит двухступенчатую очистку через скорые и напорные фильтры. Производительность скорых фильтров – 95 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$, напорных фильтров – 15 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ Далее вода через резервуар чистой воды объемом 1 тыс. м^3 подается в магистральные водоводы.

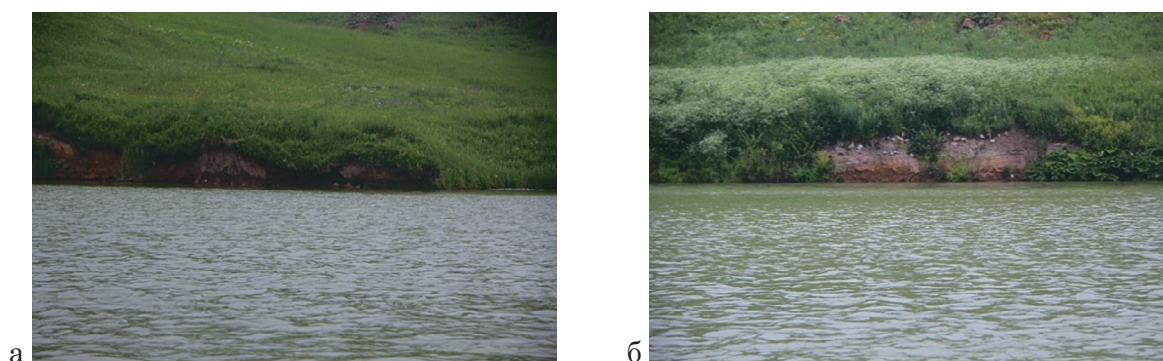


Рис. 7. Обследование береговой линии Эшкаконского водохранилища:

а – начало оползня; б – обрушение берега водохранилища

Fig. 7. Inspection of the coastline of the Eshkakon reservoir:

a – the beginning of the landslide; b – collapse of the shore of the reservoir

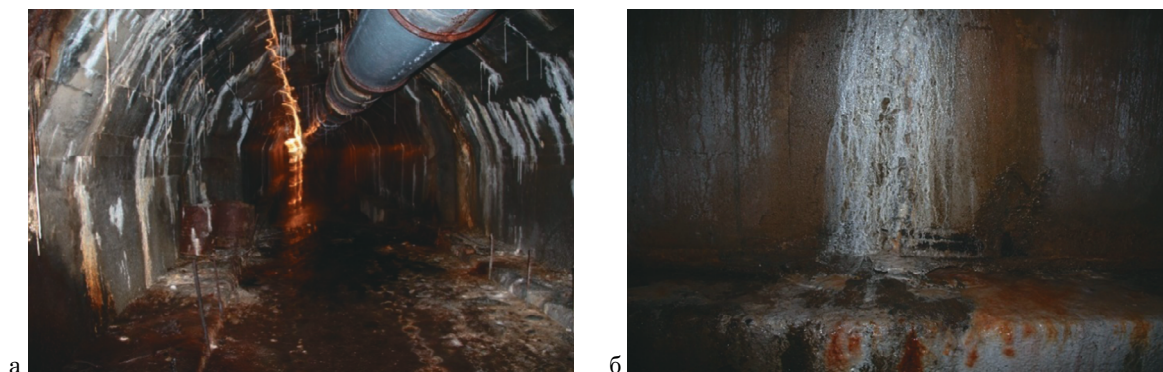


Рис. 8. Обследование строительно-эксплуатационного тоннеля:

а – современный вид;

б – на стенках тоннеля наблюдается эрозия бетона вследствие кавитационных процессов

Fig. 8. Inspection of the construction and maintenance tunnel:

a – modern view; b – concrete erosion is observed on the tunnel walls due to cavitation processes

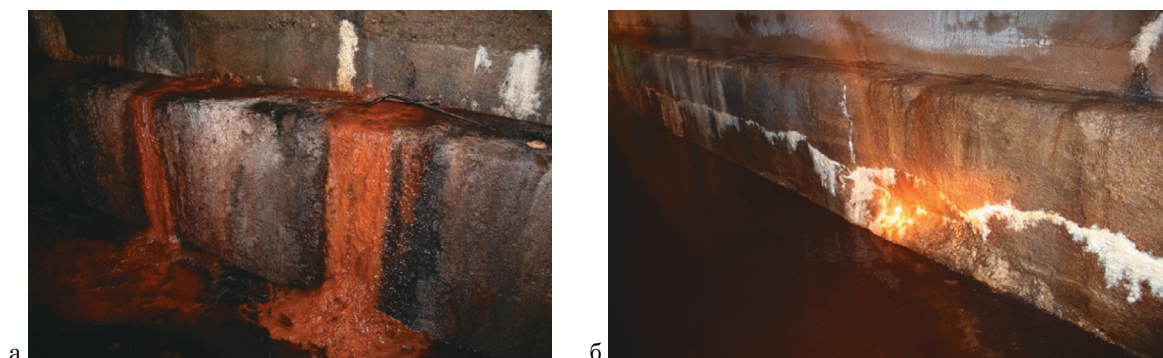


Рис. 9. Дефекты строительно-эксплуатационного тоннеля:

а – кавитационные процессы; б – биологическая коррозия бетонной облицовки на выходе из тоннеля

Fig. 9. Defects of the construction and maintenance tunnel:

a – cavitation processes; b – biological corrosion of concrete lining, at the exit from the tunnel

Выводы

Анализ конструктивных особенностей, показателей прочности, устойчивости и состояния комплекса гидротехнических сооружений Эшкаконского гидроузла по данным проекта, поверочных расчетов и натурных наблюдений указывает на то, что наиболее уязвимым сооружением для воздействия факторов опасности природного и техногенного характера, способных вызвать гидродинамическую аварию вследствие увеличивающейся сейсмической опасности, является каменно-земляная плотина. Ядро, переходные фильтровые зоны и цементационная завеса каменно-земляной плотины работают эффективно. Расчетные значения коэффициентов устойчивости откосов каменно-земляной плотины и коэффициентов устойчивости на сдвиг паводкового водосброса при основном и особом сочетании нагрузок удовлетворяют их критериальным (нормативным) значениям для сооружения II класса и составляют:

- для откосов плотины 1,52 и 1,31;
- для паводкового водосброса 2,0 и 1,64.

По данным инструментальных натурных наблюдений работа и техническое состояние плотины характеризуется следующими показателями. Осадка гребня плотины происходит закономерно и имеет плавный затухающий во времени характер. В последние годы приращения осадки находятся в пределах 1-5 мм/год, что близко к пределу точности ее измерений. По длине плотины величина осадки гребня закономерно меняется практически пропорционально ее высоте в контрольных створах. За весь период наблюдений максимальная осадка гребня составила 220 мм и оценивается как незначительная для плотины высотой около 85 м (относительно высоты плотины максимальная осадка не превышает 0,25%).

Поперечные сезонные горизонтальные смещения гребня плотины от изменяющейся гидротехнической нагрузки со стороны верхнего бьефа в настоящее время носят упругий характер, величины их для различных наблюдательных створов составляют от $\pm 1,0$ до ± 18 мм. Отсутствие роста необратимых горизонтальных смещений гребня характеризует работу плотины по данному показателю как нормальную. Продольные относительные деформации грунта гребня плотины по данным десяти летних наблюдений находятся в пределах $0,00024 \div 0,0009$, что на порядок меньше предельно-допустимого критериального показателя для суглинка ядра.

Предполагаемые сценарии возникновения возможной аварии:

– перелив воды через гребень каменно-земляной плотины при длительном паводке, в этом случае на плотине при переливе воды происходит прогрессирующий размыв участка сопряжения каменно-земляной плотины с левым берегом и размыв грунта на ее низовом откосе. Затем следует понижение и продвижение границы размыва в сторону напорного откоса, расширение прорана размыва, увеличение расхода воды, переливающейся через плотину и интенсивный размыв прорана;

– авария на плотине от сейсмического воздействия силой, превышающей расчетную величину, образование в плотине сквозных поперечных трещин значительной глубины и локальных обрушений откосов, в том числе с захватом оползнями гребня; сосредоточенная фильтрация по трещинам и перелив воды через локальные понижения гребня; увеличение расхода воды; образование прорана, размыв тела плотины, прорыв напорного фронта.

В качестве итоговой величины среднегодовой вероятности реализации возможной аварии

принята наибольшая величина по сценарию 2 ($P_a = 5 \times 10^{-4}$ 1/год) Выполняемые регулярные натурные наблюдения и исследования, техническое обслуживание и ремонтные мероприятия обеспечивают постоянное поддержание гидротехнических сооружений в работоспособном состоянии. Для локализации и ликвидации возможных

опасных крупномасштабных повреждений и аварийных ситуаций на сооружениях материально-технических средств собственника объекта достаточно. Диагностические показатели работы и технического состояния комплекса гидротехнических сооружений отвечают критериям безопасности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001 Система мониторинга комплексной оценки безопасности технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса работоспособности гидротехнических сооружений юга России при возрастающих природных и техногенных катастрофах с учётом изменения климатических и сейсмических условий региона).

Financing. The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (grant No. 22-17-2001 A system for monitoring a comprehensive assessment of the safety of the technical condition and forecasting the residual resource of operability of hydraulic structures in the south of Russia under increasing natural and man-made disasters, taking into account changes in the climatic and seismic conditions of the region).

Список использованных источников

1. **Волосухин Я.В.** Безопасность комплекса гидротехнических сооружений в бассейне малой горной реки Эшкакон // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2017. № 2 (194). С. 85-90.
2. **Волков В.И., Снежко В.Л., Козлов Д.В.** Прогноз уровня безопасности низконапорных и бесхозных гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2018. № 11. С. 35-41.
3. **Финагенов О.М.** Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений / О.М. Финагенов, Штильман С.Г. Шульман, А.М. Юделевич // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7-20.
4. **Волосухин В.А.** Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений низконапорных водохранилищ и обводнительно-орошительных систем / В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, Я.В. Волосухин и др.; Под общ. ред. В.А. Волосухина. Новочеркасск: ООО «Лик», 2010. 338 с.
5. **Панов С.И.** Роль ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева в развитии оценки состояния грунтовых ГТС на базе натурных исследований и расчетных методов / Е.А. Филиппова, О.А. Буряков и др. // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 74-84.
6. **Волосухин Я.В., Иванкова Т.В., Потапенко Ю.Я.** Экологические аспекты зон санитарной охраны основного источника водоснабжения города-курорта Кисловодска // Природообустройство. 2020. № 3. С. 91-99. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-91-99.
7. **Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А.** Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природообустройство. 2022. № 4. С. 50-56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.
8. **Волосухин В.А., Бандурин М.А.** Проблемные вопросы реализации мониторинга водопользования на Юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. № 2-1 (24). С. 113-123.

References

1. **Volosukhin Ya.V.** Safety of the complex of hydraulic structures in the basin of the small mountainous river Eshkakon / Ya.V. North Caucasian region. Technical science. 2017. No. 2 (194). pp. 85-90. – DOI 10.17213/0321-2653-2017-2-85-90.
2. **Volkov V.I., Snezhko V.L., and Kozlov D.V.** Forecast of the safety level of low-pressure and ownerless hydraulic structures, Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2018. No. 11. pp. 35-41.
3. Development of methods for assessing the reliability of hydraulic structures / O.M. Finagenov, V.B. Shilman, S.G. Shulman, A.M. Yudelevich // Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics. B.E. Vedeneeva. 2021. Vol. 300. pp. 7-20.
4. **Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Volosukhin Ya.V.** Safety monitoring of hydraulic structures of low-pressure reservoirs and water-irrigation systems [and others]; Under the general editorship of V.A. Volosukhin. Novocherkassk: ООО "Lik", 2010. 338 p.
5. **Panov S.I.** The role of VNIIG them. B.E. Vedeneeva in the development of assessing the state of soil hydrotechnical systems based on field studies and calculation methods / E.A. Filippova, O.A. Buryakov [et al.] // Proceedings of the All-Russian Research Institute of Hydrotechnics named after. B.E. Vedeneeva. 2021. Vol. 300. pp. 74-84.
6. **Volosukhin Ya.V.** Ecological aspects of sanitary protection zones of the main source of water supply in the resort city of Kislovodsk / Ya.V. Volosukhin, TV Ivankova Yu.Ya. 2020. No. 3. pp. 91-99. – DOI 10.26897/1997-6011-2020-3-91-99.
7. **Volosukhin V.A.** Climate change: causes, risks for the water management complex of the Krasnodar Territory / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, I.A. Prihodko // Nature Engineering. 2022. No. 4. pp. 50-56. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.
8. **Volosukhin V.A.** Problematic issues of implementation of water use monitoring in the South of Russia in the conditions of growth of technogenic loads and climatic changes / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin // Bulletin of the Don State Agrarian University. 2017. No. 2-1 (24). pp. 113-123.

9. Скрипка Г.И. Мониторинг опасных береговых процессов Цимлянского водохранилища с использованием ГИС-технологий / О.В. Ивлиева, Л.А. Беспалова и др. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26, № 2. С. 253-263. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-253-263.

10. Mechanical stresses in building structures and dry friction-ways to improve the durability of architectural structures / Z. Jing, D. Benin, V. Snezhko et al. // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12, № 2. Pp. 578-585. DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP2/SP20201107.

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

12. Seismic input models for tuned mass damper designing / Y.U. Albert, A.A. Dolgaya, T.V. Ivanova et al. // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 8 (76). Pp. 98-105. DOI: 10.18720/MCE.76.9.

13. Denisov G.V. Condition of the Gotsatli Hydroelectric Power Plant Dam During Filling of the Reservoir According to Field Observations and Numerical Modeling / G.V. Denisov, O.Y. Davydkin, K.M. Vorob'ev // Power Technology and Engineering. 2017. Vol. 51. № 3. Pp. 267-273. DOI: 10.1007/s10749-017-0823-y.

14. Гурьев А.П. Рекомендации по предупреждению кавитационной эрозии бетона на примере водосброса № 2 Богучанской ГЭС / А.П. Гурьев, Н.В. Ханов, В.А. Фартуков и др. // Природообустройство. 2019. № 4. С. 69-77. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77.

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

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023

Одобрена после рецензирования 17.02.2023

Принята к публикации 21.02.2023

9. Skripka G.I. Monitoring of hazardous coastal processes of the Tsimlyansk Reservoir using GIS technologies / Ivlieva O.V., Bepalova L.A. [et al.] // InterKarto. InterGIS. 2020. Vol. 26. No. 2. pp. 253-263. – DOI 10.35595/2414-9179-2020-2-26-253-263.

10. Mechanical stresses in building structures and dry friction-ways to improve the durability of architectural structures / Z. Jing, D. Benin, V. Snezhko [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12. – No S2. P. 578-585. – DOI 10.5373/JARDCS/V12SP2/SP20201107.

11. Snezhko V.L., Sidorova S.A., and Simonovich O.S. Prediction of the safety level of soil low-pressure dams, Prirodoobstroystvo. 2019.No. 2. pp. 72-79. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80.

12. Seismic input models for tuned mass damper designing / Y.U. Albert, A.A. Dolgaya, T.V. Ivanova [et al.] // Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 8 (76). pp. 98-105. – DOI 10.18720/MCE.76.9.

13. Denisov G.V. Condition of the Gotsatli Hydroelectric Power Plant Dam During Filling of the Reservoir According to Field Observations and Numerical Modeling / G.V. Denisov, O.Y. Davydkin, K.M. Vorob'ev // Power Technology and Engineering. 2017. Vol. 51.No 3. P. 267-273. – DOI 10.1007/s10749-017-0823-y.

14. Guriev A.P., Khanov N.V., Fartukov V.A. [et al.] Recommendations for the prevention of cavitation erosion of concrete on the example of the spillway No. 2 of the Boguchanskaya HPP. 2019. No. 4.pp. 69-77. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77.

15. Karpenko N.P. Theoretical substantiation of the structure of the classifier of safety criteria for HTS of the reclamation water management complex / N.P. Karpenko, I.F. Yurchenko // Nature Engineering. 2015. No. 1.pp. 12-15.

Criteria for authorship.

Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Rudenko A.A. performed theoretical studies, on the basis of which they made a generalization and wrote the manuscript, They have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest

Contributions of the authors

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

The article was received in the editorial office 13.01.2023

Approved after review 17.02.2023

Accepted for publication 21.02.2023

Оригинальная статья

УДК 627.8:69.05

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-81-85



ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ СКЛОНА ПОЙМЕННЫХ ДАМБ И БЕРЕГОВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Черных Ольга Николаевна^{1✉}, канд. техн. наук, доцент

WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chon@mail.ru

Бурлаченко Алена Владимировна^{2✉}, канд. техн. наук

WoS ResearcherID: HPE-1499-2023; Scopus AuthorID: 57191856023; ORCID:0000-0003-2617-9515, SPIN-код: 3155-2490; AuthorID: 1098780; chtara@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности трансформации профиля склона пойменных дамб и берегов водных объектов при изменении глубины и параметров волнового воздействия включая и место начала разрушения откосов из гравийного материала. Приводятся результаты модельных исследований на откосах с заложением, равным 5, по которым выявлено влияние изменения относительной высоты гребня волн в пределах 0,01...0,10 на тип профиля переформированного откоса. Проанализированы результаты сопоставления полученных экспериментальных данных с данными Ван-Хьюмена для профилей двух основных типов: эрозионного и намывного. Даны рекомендации по определению устойчивого заложения откоса в приустьевой зоне водоема или крупного водотока при разной пологости созидательных волн. Установлено, что пологость волн не оказывает существенного влияния на величину устойчивого заложения склона при известной средней крупности несвязанного материала, слагающего его. С ростом отношения высоты набегающей волны к среднему диаметру материала, формирующего откос, устойчивое заложение в приустьевой зоне увеличивается, и его значение доходит до 10.

Ключевые слова: пойменные дамбы, волна, откос, гравийный материал, деформации, инженерная защита

Формат цитирования: Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Изменения профиля склона пойменных дамб и берегов водных объектов при волновом воздействии // Природообустройство. – 2023. № 2. С. 81-85. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-81-85.

© Черных О.Н., Бурлаченко А.В., 2023

Original article

PECULIARITIES OF CHANGING THE PROFILE OF THE SLOPE OF FLOOD-PLAIN DAMS AND BANKS OF WATER BODIES UNDER WAVE IMPACT

Chernikh Olga Nikolaevna^{1✉}, doctor of technical sciences, professor

WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chon@mail.ru

Burlachenko Alyona Vladimirovna^{2✉}, candidate of technical sciences, associate professor

WoS ResearcherID: HPE-1499-2023; Scopus AuthorID: 57191856023; ORCID:0000-0003-2617-9515, SPIN-код: 3155-2490; AuthorID: 1098780; chtara@mail.ru

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, Russia

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64, Russia

Annotation. The features of the transformation of the profile of the slope of floodplain dams and banks of water bodies with a change in the depth and parameters of the wave action, including the place where the destruction of gravel slopes begins, are considered. The results of modeling studies on slopes with a laying equal to 5 are presented, according to the results of which the influence of a change in the relative height of the wave crest within 0.01...0.10 on the type of the reshaped slope profile is revealed. The results of comparison of the obtained experimental data with Van-Human data for profiles of two main types: erosional and alluvial are analyzed. Recommendations are given for determining the stable laying of a slope in the coastal wave zone of a reservoir or a large watercourse with different flatness of creative waves.

It has been established that the flatness of the waves does not have a significant effect on the magnitude of the stable initiation of the slope with a known average size of the unbound material that composes it. With an increase in the ratio of the height of the oncoming wave to the average diameter of the material forming the slope, the stable laying in the coastal wave zone increases and its value reaches 10.

Keywords: floodplain dams, wave, slope, gravel material, deformation, engineering protection

Format of citation: Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Peculiarities of changing the profile of the slope of flood-plain dams and banks of water bodies under wave impact // Prirodoobustroystvo. 2023. No. 2. S 81-85. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-81-85.

Введение. В береговой гидротехнике в настоящее время при борьбе с наводнениями и разработке методов защиты береговых склонов водных объектов от эрозии и обрушения одной из основных задач является снижение стоимости защитного гидротехнического сооружения (ГТС) при одновременном увеличении надежности его работы. Это касается не только создания новых типов берегоукрепительных либо берегозащитных ГТС, но и уточнения параметров ГТС, являющихся искусственными аналогами фрагментов естественных берегов, достигших стадии динамического равновесия или приближающихся к ним [1-5]. Это непосредственно относится к откосам пойменных дамб, выполненных из песчано-гравийных грунтов (рис. 1), которые при воздействии волн в водном объекте подвержены перестроению.

В большей степени переработку испытывает участок откоса, ограниченный нижним пределом размывающего действия волнения и высотой

наката волн [3]. В зависимости от крупности материала, заложения откоса, высоты и длины волн на глубокой воде можно различать волны аккумулярующие (созидательные) и размывающие. Если изменение прирезовой полосы рассматривать в течение ряда лет, то можно определить, что стабильными являются участки, для которых ширина надводной части откоса остается постоянной. На таком, в среднем стабильном участке, при сильном волнении размывается надводная часть и урез перемещается в сторону суши [6]. Одновременно увеличивается объем аккумуляруемого материала подводной части откоса (рис. 2).

При созидательных волнах наносы с подводной части откоса перемещаются вверх по склону, наращивают надводную его часть и выдвигают урез в сторону водоема или крупного водотока. Форма профиля откоса в этом случае существенно изменяется (рис. 3).

Материалы и методы исследований.

Важно знать, при каких параметрах волнения и характеристиках гравийного откоса формируется размываемый или намываемый профиль. Возникает также задача, связанная с величиной заложения устойчивого откоса в прирезовой зоне. Рассмотрению этих вопросов посвящен ряд работ [3]. Подобные эксперименты проводились в лаборатории гидравлики МАДИ под руководством канд. техн. наук В.И. Алтунина, в ВОД-ГЕО – Д.И. Алтуниным [2, 7, 8], а ранее выполнялись в гидротехнической лаборатории МГМИ и в лаборатории отдела динамических исследований НИСа Гидропроекта под руководством д-ра техн. наук, профессора В.М. Ляхтера [9, 10]. Основной объем экспериментальных исследований производился в волновом лотке с рабочей частью длиной 10 м, шириной по дну 0,6 м и наполнением 0,55 м [2, 3].

Откос насыпного гидротехнического сооружения (дамбы пляжного участка берега водного

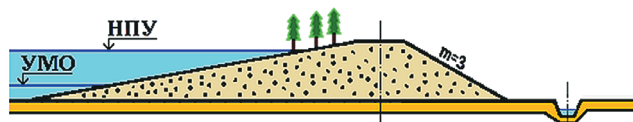


Рис. 1. Поперечное сечение дамбы инженерной защиты с некрепленным верхним откосом $m \geq 5$

Fig. 1. Cross-section of the engineering protection dam with non-fixed upper slope $m \geq 5$



Рис. 2. Эрозия берегов водотоков:

а – р. Большая Невка, г. Санкт-Петербург, 2018 г. [4];
б – р. Протва в месте впадения в р. Оку (обследование выполнено осенью 2022 г.)

Fig. 2. Erosion of the watercourses banks:

а – Bolshaya Nevka River, St. Petersburg, 2018 [4];
b – Protva River at the confluence with the Oka River (survey carried out in the autumn 2022)

объекта и т.п.) устраивался с начальным заложением, близким к условиям натуре $m = 5,0$. Он формировался из материала в первой серии опытов со средним диаметром $d_{50} = 3,4$ мм, а во второй серии – 5,1 мм. Волны генерировались волновым щитом. Их высота изменялась от 7 до 13 см с периодом $\tau = 0,924; 1,22; 1,64$ с. Продолжительность опыта длилась 2...4 ч до наступления стабилизации профиля откоса. В процессе опыта откос нивелировался.

Во время проведения опытов на модели было отмечено, что с уменьшением среднего диаметра материала откоса его перекокс вверх по откосу уменьшается при постоянстве высоты, длины волны и ее периода. Увеличение крутизны волны с ростом высоты и постоянства длины волны также приводит к уменьшению переноса материала вверх по склону (рис. 2, 3).

При крутых волнах формируется эрозийный, так называемый штормовой профиль (тип I), с подводным валом в месте разрушения волн (рис. 4). Для этого типа характерно образование бара, который обычно возникает на мелководье в виде длинных узких ассиметричных гряд по причине уменьшения энергии волн, резкого падения глубины и снижения скорости потока, утрачивающего возможность транспортирования донных наносов к берегу водного объекта. Аккумуляция песка, гравия, ракушки и другого осадочного материала происходит на дне

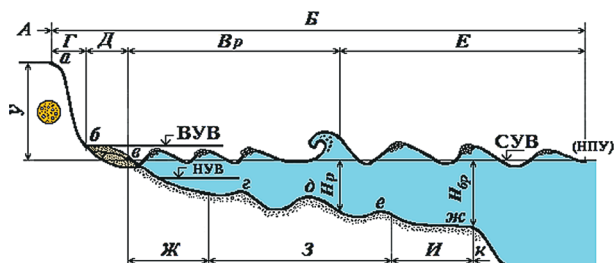


Рис. 3. Схема волнового воздействия на откос водного объекта [7]:

A – надводный берег; Б – береговая зона;

B_p – зона разрушения волн;

Г – абразионный склон (уступ) берега;

Д – пляжная зона;

Е – зона прибрежного мелководья;

Ж – приурезовая часть береговой отмели;

VUV, SUV, NUV – соответственно высший, средний и низший уровни воды

Fig. 3. Scheme of wave impact on the slope of a water body [7]:

A – above water bank; Б – bank zone;

B_p – zone of wave breaking;

Г – abrasive slope (ledge) of the bank;

Д – beach area; Е – zone of coastal shallow waters;

Ж – coastal wave part of the zone;

VUV, SUV, NUV – respectively the highest, middle and lowest water level

и откосах дамбы или береговой линии в форме гряд-валов из наносов, динамика которых влияет на режим работы водоема или водотока – в частности, на судоходство. При пологих исходных волнах формируется нормальный, намывной профиль, – тип II.

Результаты и их обсуждение. На предварительных стадиях исследований для песчаных склонов была получена критериальная зависимость по определению типа профиля склона, учитывающая влияние основных параметров, проверенная соответствующими экспериментальными данными [3, 11] и имеющая следующий вид:

$$h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} = K m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}, \quad (1)$$

где $h_{\text{гл}}, \lambda_{\text{гл}}$ – соответственно средняя высота и длина волны; $K = 1...5$ – критериальный коэффициент; m – заложение откоса; d_{50} – средний диаметр частиц, слагающих откос.

Проведенные опыты показали, что типы профиля откоса ГТС для песчаного и гравийного материала близки по очертанию. Это означает, что переформирование песчаного и гравийного откосов подчиняется общей закономерности. Вместе с тем механизм перемещения наносов в придонной области в общем случае различен. Гравийный материал не дает образования рифелей – сохраняется только гладкая фаза движения наносов, в то время как для песка характерна рифельная фаза движения. Поэтому для проверки справедливости выражения (1) для условий гравийных откосов на графике зависимости $h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} = f[m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}]$ рисунка 5 нанесены полученные на модели экспериментальные данные, условные обозначения для которых приведены в таблице 1.

На том же графике приведены и экспериментальные данные Ван-Хьюмена для гравийных откосов с $m = 5,0$ и крупностью материала $d_{50} = 1,3; 6,1; 13,0$ мм [12]. Высота волны $h_{\text{гл}}$ в опытах изменялась от 10 до 47 см, а периоды τ – от 1,2 до 2,44 с. Как показали анализ экспериментальных данных и их сопоставление с данными

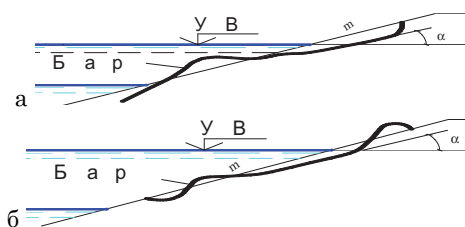


Рис. 4. Типы профиля откосов дамбы при волновом воздействии:

а – тип I эрозийный с подводным баром;

б – тип II намывной

Fig. 4. Types of dam slopes profile under wave impact: a – type I – erosion with underwater bar; b – type II – alluvial

Ван-Хьюмена, полученные точки для различных типов профиля группируются таким образом, что профиль первого типа формируется при условии

$$h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} > 4 m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}, \quad (2)$$

а профиль второго типа – при условии

$$h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} < 4 m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}. \quad (3)$$

При этом наблюдается хорошее согласование полученных экспериментальных данных и данных Ван-Хьюмена.

Для обоснованного проектирования откосов из гравийного материала важно знать величину

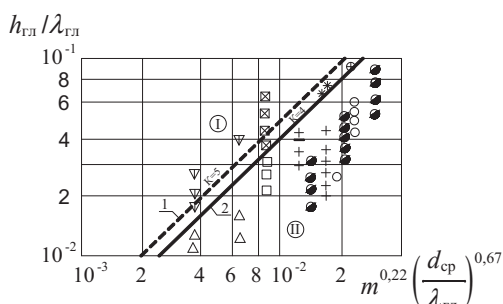


Рис. 5. Графики зависимости $h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} = f[m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}]$ (условные обозначения – в таблице 1):

- 1 – разграничивающая линия для откоса из песка;
2 – разграничивающая линия для откоса из гравия

Fig. 5. Graphs of the dependence $h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} = f[m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}]$ (symbols are given in table 1):
1 – demarcation line for the sand slope;
2 – dividing line for gravel slope

Таблица 1. Обозначения экспериментальных данных, нанесённых на рисунке 3 для графических зависимостей $h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} = f[m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}]$

Table 1. The symbols of the experimental data shown in Figure 3 for the graphical dependencies $h_{\text{гл}}/\lambda_{\text{гл}} = f[m^{0,22} (d_{50}/\lambda_{\text{гл}})^{0,67}]$

Автор Author	d_{50} мм d_{50} mm	Тип профиля Type of profile	
		I	II
Алтунин Д.И. (ВОДГЕО) Altunin D.I. (VODGEO)	3,5	⊗	□
Алтунин В.И., Бурлаченко А.В. (МАДИ) Altunin V.I., Burlachenko A.V. (MADI)	5,1		⊙
Ван-Хьюмен Van-Human	1,3	∇	△
	6,1	*	+
	13,0	⊕	○

устойчивого заложения склона для известной средней крупности материала и высоты исходной волны. На основе полученных на модели экспериментальных данных, а также данных Ван-Хьюмена построен график зависимости $tga = f(h_{\text{гл}}/d_{50})$ при различной пологости исходных волн (рис. 6).

Анализ графика показывает, что пологость не оказывает существенного влияния на tga . Это согласуется с экспериментальными данными других авторов [11-14]. С ростом отношения $h_{\text{гл}}/d_{50}$ до 80 устойчивая величина заложения ($m = 1/tga$) в приурезовой зоне увеличивается и приближается к 10.

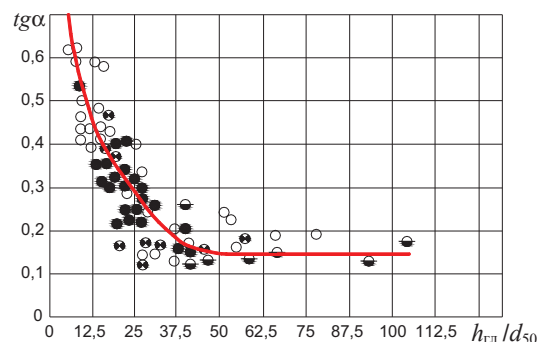


Рис. 6. График зависимости $tga = f(h_{\text{гл}}/d_{50})$ для исследованной модели с откосом из гравия, построенный по экспериментальным данным при d_{50} :

● – 1,3 мм; ● – 3,4 мм; ○ – 6,1 мм; ⊙ – 5,1 мм

Fig. 6. Graph of dependence $tga = f(h_{\text{гл}}/d_{50})$ for the studied model with gravel slope, built on the experimental data at d_{50} :

● – 1.3 mm; ● – 3.4 mm; ○ – 6.1 mm; ⊙ – 5.1 mm

Выводы

Таким образом, в результате экспериментальных исследований найдены безразмерные параметры, определяющие величины устойчивого заложения откоса в приурезовой зоне и закономерности изменения типа профиля откосов пойменных дамб и береговых участков водных объектов, сложенных из гравелистых материалов и подвергающихся волновому воздействию. Получены графические и аналитические зависимости для определения устойчивого очертания склона с учетом основных параметров волн и средней крупности материала, формирующего откос. Все это позволяет уточнить гидротехнический расчет береговых гидротехнических сооружений и расширить круг вопросов, связанных с их проектированием.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

Список использованных источников

1. Коренева В.В., Козыр И.Е., Штеренлихт Д.В. Гидравлическое и конструктивное обоснование берегозащитных и берегоукрепительных мероприятий на водных объектах. М.: МГУП, 2002. 116 с.
2. Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Issue 4, P. 385-390.
3. Алтунин Д.И. Кинематические характеристики волн на пологих прибрежных склонах // Водопрпускные сооружения в условиях Крайнего Севера. Сборник научных трудов. Якутск, изд. ЯГУ, 1986. 132 с.
4. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративных гидроузлов с грунтовой плотинной. 2022. В ЭБС РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в электронном виде (режим доступа: <http://elbib.timacad.ru/dl/full/s13102022Chernykh.pdf>). 172 с.
5. Алтунин Д.И., Сидоров Н.Н. Распределение волновых скоростей на критической глубине в зоне берегозащиты / Труды ВОДГЕО. Инженерная защита территорий. М.: 1982. С. 100-105.
6. Altunin V.I. Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance / Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Issue 4, P. 385-390.
7. Алтунин Д.И., Алтунин В.И. Переформирование откосов пойменных дамб // Гидравлика водопрпускных сооружений. Тезисы докладов V Республиканской конференции по научно-техническим проблемам гидравлики дорожных водопрпускных сооружений. Саратов: 1985. 205 с.
8. Черных О.Н., Волков В.И., Алтунин В.И. Расчёты сооружений гидроузла с плотинной из грунтовых материалов. М.: Из-во РГАУ-МСХА, 2015. 202 с.
9. Левкевич В.Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси. Минск: БНТУ, 2019. 172 с.
10. Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие Ч. 1. М.: РГАУ-МСХА, 2019. 145 с.
11. Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, 2020. 185 с.
12. Iwagaki Y. Relationship between vertical distribution of water particle velocity and type of breakers on beaches. Journal Coastal Engineering in Japan. v. VI. 1985.
13. Ляхтер В.М., Милетеев А.Н. Расчет наката длинных гравитационных волн на откос // Океанология, 1974, № I. 14, 37 с.
14. Volkova E. Experimental researches of creation beaches on the artificial territories // MEDCOAST 2009 The ninth international conference on the Mediterranean coastal environment. 2009. 1356 p.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Одобрена после рецензирования 13.02.2023

Принята к публикации 18.02.2023

References

1. Koreneva V.V., Kozyr I.E., Shterenlikht D.V. Hydraulic and constructive substantiation of shore protection and shore stabilizing measures on water bodies. M.: MGUP, 2002. 116 s.
2. Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Issue 4, pp. 385-390.
3. Altunin D.I. Kinematic characteristics of waves on gentle coastal slopes // Culvert structures in the conditions of the Far North. Collection of scientific papers. – Yakutsk, ed. YSU, 1986. 132 p.
4. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Ensuring the safety of hydraulic structures of reclamation hydroelectric facilities with an earth dam. 2022. EBS RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev in electronic form (access mode: <http://elbib.timacad.ru/dl/full/s13102022Chernykh.pdf>). 172 p.
5. Altunin D.I., Sidorov N.N. Distribution of wave velocities at critical depth in the coastal protection zone / Proceedings of VODGEO. Engineering protection of territories. M.: 1982. P. 100-105.
6. Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Issue 4, pp. 385-390.
7. Altunin D.I., Altunin V.I. Reformation of slopes of floodplain dams // Hydraulics of culverts. Abstracts of the V Republican Conference on Scientific and Technical Problems of Road Culvert Hydraulics. – Saratov; 1985. – 205 p.
8. Chernykh O.N., Volkov V.I., Altunin V.I. Calculations of the structures of a hydroelectric complex with a dam made of soil materials: textbook. M.: Iz-vo RGAU-MSHA, 2015. 202 p.
9. Levkevich V.E. Fastening of banks and upstream slopes of retaining structures of hydropower facilities in Belarus: monograph – Minsk: BNTU, 2019. 172 p.
10. Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V. Bank protection structures of water bodies: a textbook. part 1. – M.: RGAU-MSHA, 2019. 145 p.
11. Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V. Shore protection structures of water bodies: a textbook, part 2. M.: RGAU-MSHA, 2020. 185 p.
12. Iwagaki Y. Relationship between vertical distribution of water particle velocity and type of breakers on beaches. Journal Coastal Engineering in Japan. v. VI. 1985.
13. Lyakhter V.M., Mileteev A.N. Calculation of run-up of long gravitational waves on a slope. Oceanology, 1974, No. I, 14, 37 p.
14. Volkova E. Experimental researches of creation beaches on the artificial territories // MEDCOAST 2009 The ninth international conference on the Mediterranean coastal environment / 2009. 1356 p.

Criteria of authorship

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

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 25.01.2023

Approved after reviewing 13.02.2023

Accepted for publication 18.02.2023

Оригинальная статья

УДК 627.8:556.182

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-86-91



МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА НАНОСОВ И РУСЛОВЫХ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ В РАЙОНЕ СОРМОВСКОГО ВОДОЗАБОРА В УСЛОВИЯХ ПОЛОВОДИЙ, МЕЖЕНИ И ПРИ РАБОТЕ ЗЕМСНАРЯДОВ

Глотко Анна Владимировна^{1,2✉}, канд. техн. наук

ORCID0000-0003-1382-3033, РИНЦ ID1028281, Scopus 57204366466, WOS Research ID Q-3505-2017; annaglotko@mail.ru

Васильева Екатерина Сергеевна¹, канд. техн. наук

ORCID0000-0002-3566-1461, РИНЦ ID1113593, Scopus 57211287970, WOS Research ID HII-6763-2022; vasilevae@yandex.ru

Беликов Виталий Васильевич¹, д-р техн. наук

ORCID0000-0002-1760-4498, РИНЦ ID14526, Scopus 8055086600, WOS Research ID: P-3480-2014; belvv@bk.ru

Борисова Наталья Михайловна¹, канд. физ.-мат. наук

ORCID0000-0002-6955-957X, РИНЦ ID169955, Scopus 57204856178, WOS Research ID P-2859-2014; borisovanm@mail.ru

¹ Институт водных проблем Российской академии наук; г. Москва, ул. Губкина, 3, Россия

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» НИУ МГСУ; г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Аннотация. Строительство и эксплуатация гидроузлов оказывают влияние на окружающую среду и рядом расположенные действующие объекты хозяйствования. Рассматривается Сормовский водозабор, а также возможное воздействие на него проектируемого Нижегородского низконапорного гидроузла. В качестве инструмента для исследований был использован программный комплекс *STREAM 2D CUDA*, основанный на оригинальном численном алгоритме решения двумерных уравнений мелкой воды (уравнения Сен-Венана) на неровном дне. Для расчета деформаций речного дна и заилиenia водозаборных сооружений применяется новая физико-математическая модель транспорта наносов с учетом неоднородного (многофракционного) состава грунта, движения как влекомых, так и взвешенных наносов, переформирования подводных и надводных склонов. Для проведения расчетов были построены три модели. На первой модели производились расчеты половодий редкой повторяемости 10%-, 1%- и 0,1%-ной обеспеченности. На второй модели исследовались меженные условия – навигационный период при суточном регулировании вышерасположенного гидроузла. На третьей модели рассматривался строительный период, когда производятся гидромеханизированные работы. По полученным расчетам были построены планы размывов: аккумуляций, планы отложений наносов, определены массы наносов, поступающих в Сормовский водозабор. Результаты моделирования показали, что деформации дна в районе водозабора являются незначительными. Большая часть наносов поступает в ковш водозабора в период половодья. При этом строительство Нижегородского низконапорного гидроузла незначительно изменяет существующую тенденцию. Основной вывод проделанной работы заключается в том, что специальные дополнительные мероприятия по защите Сормовского водозабора от наносов в период навигации не требуются.

Ключевые слова: транспорт наносов, Сормовский водозабор, Нижегородский низконапорный гидроузел, уравнения Сен-Венана, деформации речного дна, половодье, межень, строительный период

Формат цитирования: Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М. Моделирование транспорта наносов и русловых переформирований в районе Сормовского водозабора в условиях половодий, межени и при работе земснарядов // Природообустройство. 2023. № 2. С. 86-91. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-86-91.

© Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М., 2023

Original article

MODELING OF SEDIMENT TRANSPORT AND RIVERBED REFORMATIONS IN THE AREA OF THE SORMOVO WATER INTAKE IN THE CONDITIONS OF HIGH WATER, LOW WATER AND DURING DREDGER OPERATION

Glotka Anna Vladimirovna^{1,2✉}, candidate of technical sciences

ORCID0000-0003-1382-3033, PIИЦ ID1028281, Scopus 57204366466, WOS Research ID Q-3505-2017; annaglotko@mail.ru

Vasiljeva Ekaterina Sergeevna¹, candidate of technical sciences

ORCID0000-0002-3566-1461, PIИЦ ID1113593, Scopus 57211287970, WOS Research ID HII-6763-2022; vasiljevae@yandex.ru

Belikov Vitaly Vasiljevich¹, doctor of technical sciences

ORCID0000-0002-1760-4498, PIИЦ ID14526, Scopus 8055086600, WOS Research ID: P-3480-2014; belvv@bk.ru

Borisova Natalja Mikhailovna¹, candidate of physical-mathematical sciences

ORCID0000-0002-6955-957X, PIИЦ ID169955, Scopus 57204856178, WOS Research ID P-2859-2014borisovanm@mail.ru

¹ Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina St., 3, Russia

² FGBOU HE "National Research Moscow State University of Civil Engineering" NRU MGSU, Moscow, Yaroslavl highway, 26, Russia

Annotation. The construction and operation of hydraulic structures has an impact on the environment and nearby objects. The article discusses the Sormovo intake structure and the possible impact on it of the projected Nizhny Novgorod low-pressure hydroelectric complex. The STREAM 2D CUDA software package, based on the original numerical algorithm for solving two-dimensional shallow water equations (Saint-Venant equations) on an uneven bottom, was used as a research tool. To calculate the deformations of the river bottom and siltation of water intake structures, a new physical and mathematical model of sediment transport is used, taking into account the heterogeneous (multi-fractional) composition of the soil, the movement of both traction and suspended sediments, and the reformation of underwater and above-water slopes. Three models were built for the calculations. At the first one, calculations were made for floods of rare frequency of 10%, 1%, and 0.1% probability. On the second low water conditions – the navigation period with daily regulation of the above located hydroelectric complex. The third model considered the construction period, when hydro mechanized works are carried out. Based on the calculations obtained, plans for erosion – accumulation, plans for sediment deposition were built, and the masses of sediments entering the Sormovsky intake were determined. The simulation results showed that the bottom deformations in the intake structure area are insignificant. Most of the sediment enters the intake structure bucket during the flood period. At the same time, the construction of the Nizhny Novgorod low-pressure hydroelectric complex does not change the existing trend much. The main conclusion of the work done is that special additional measures to protect the Sormovo intake structure from sediments during the navigation period will not be required.

Keywords: Sormovo intake, Nizhny Novgorod low-pressure hydroelectric complex, Saint-Venant equations, river bottom deformations, high water, low water, construction period

Format of citation: Glotka A.V., Vasiljeva E.S., Belikov V.V., Borisova N.M. Modeling of sediment transport and riverbed reformations in the area of the Sormovo water intake in the conditions of high water, low water and during dredger operation // Prirodobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 86-91. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-86-91.

Введение. В настоящее время участок р. Волга от Городецких плотов Нижегородского гидроузла до г. Нижнего Новгорода является одним из узких мест, лимитирующих габариты судового хода единой глубоководной системы Европейской части России. Это связано с тем, что водохранилище Чебоксарского гидроузла не было заполнено до отметки 68 м. Одним из вариантов решения проблемы является строительство низконапорного гидроузла. Его строительство и эксплуатация могут оказать влияние на окружающую среду и рядом расположенные объекты.

К последним можно отнести Сормовский водозабор. В статье описываются результаты моделирования работы Сормовского водозабора в условиях половодий, навигации и в строительный период.

Сормовский водозабор на р. Волга расположен на 894.1 км судового хода по Атласу ЕГСЕС РФ (2004. Т. 5). Оголовки расположены в старице (старом русле реки), отделенной от основного потока (судового хода) песчаной косой, – в ковшовом водозаборе.

Материалы и методы исследований. Описание методики расчета. Для расчета

гидродинамических параметров течения воды и заиления водозабора использовался отечественный программный комплекс STREAM 2D CUDA [1], основанный на оригинальном численном алгоритме решения двумерных уравнений мелкой воды на неровном дне. В последней версии программного комплекса STREAM 2D CUDA реализован новый алгоритм [2-4], обеспечивающий единственности высокую точность решения на участках со сложным рельефом дна и гидротехническими сооружениями [5], распараллеленный на графическом процессоре NVIDIA с использованием технологии CUDA для ускорения расчетов. Алгоритм, валидация численной модели и многочисленные примеры приложения к различным задачам речной гидравлики и гидродинамики представлены в монографии [5].

Для расчета деформаций речного дна и заиления водозаборных сооружений применяется новая физико-математическая модель транспорта наносов с учетом неоднородного (многофракционного) состава грунта, движения как влекомых, так и взвешенных наносов, переформирования подводных и надводных склонов [6, 7]. Аналоги этой модели в настоящее время отсутствуют. Апробация описанной методики моделирования проведена на ряде объектов [8-10].

При построении модели применялись гибридные треугольно-четырёхугольные сетки нерегулярной структуры. Такие сетки хорошо адаптируются под плановые очертания расчетной области и особенности течения.

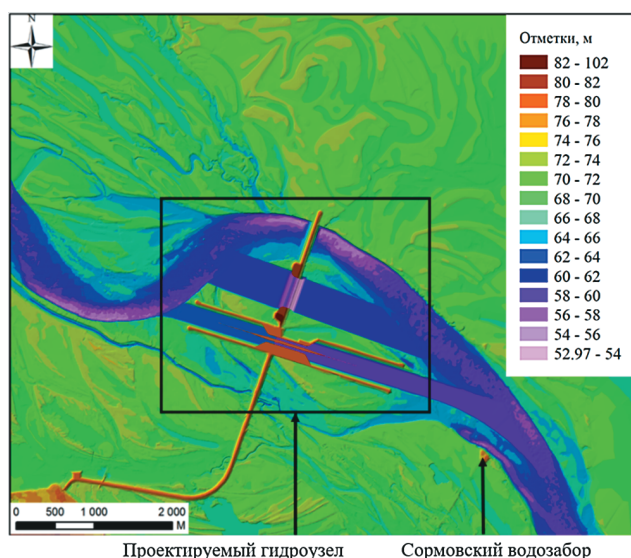


Рис. 1. Цифровая модель рельефа в районе проектируемого низконапорного гидроузла

Fig. 1. Digital model of the relief in the area of the projected low-pressure hydraulic complex

Построение математической модели исследуемого объекта. Для расчетов были построены 3 модели (рис. 2).

1. Модель 1 включает в себя верхний и нижний бьефы. Моделируются условия эксплуатации, вариант – прохождение половодья обеспеченности 10%, 1%, 0.1% (количество ячеек – 72962).

2. Модель 2 (нижний бьеф по створу проектируемого гидроузла (на рисунке 2 выделена синим полигоном) была получена из модели 1. Предназначена для моделирования периода навигации. Количество расчетных ячеек – 42621.

3. Модель 3 для строительного периода была модифицирована из модели 1 с адаптацией сетки под сооружения строительного периода. Количество расчетных ячеек – 55105.

Результаты и их обсуждение. *Результаты моделирования в половодье обеспеченностью 10%, 1% и 0.1%.* Максимальные скорости вблизи водозабора составляют 0.5-0.75 м/с для всех рассмотренных вариантов расчета.

Отложения наносов при половодье 10%-, 1%-, 0.1%-ной обеспеченности составят 0.15-0.25, 0.25-0.5, 0.1-0.5 м соответственно. Общая масса наносов, поступающих в водозабор, показана на графиках (рис. 3). Наибольшее количество наносов поступит в водозабор при половодье 1%-ной обеспеченности: 61 т при расчете на начальном дне (красная линия) и около 65 т при расчете половодья 1%-ной обеспеченности после прохождения одной навигации (красная штриховая линия). Наименьшее количество при половодье 0.1% – 26.5 т (синяя линия). При половодье 10%-ной обеспеченности общая масса поступивших в водозабор наносов составит 40.5 т (зеленая линия).

Результаты моделирования работы Сормовского водозабора в навигационный период. Для межженных условий расчеты деформаций выполнялись

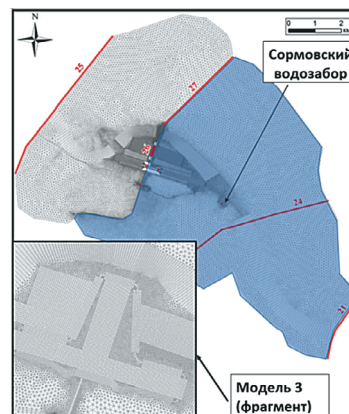


Рис. 2. Расчетные сетки модели 1, модели 2 (синий полигон), модели 3 (фрагмент)

Fig. 2. Calculation grids of model 1, model 2 (blue polygon), model 3 (fragment)

по эквивалентному гидрографу, который задавался на основе реального гидрографа суточного регулирования на Нижегородской ГЭС за 1 мес. работы. Из реального гидрографа были выбраны 3 пиковых расхода: $1000 \text{ м}^3/\text{с}$, $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ и $3000 \text{ м}^3/\text{с}$. Несколько суток с одинаковым расходом объединялись в один временной интервал, и в результате получилось, что за 1 мес. межени в течение 20 сут. сбрасывается расход $1000 \text{ м}^3/\text{с}$, в течение 9 сут. – $2000 \text{ м}^3/\text{с}$, в течение 1 сут. – $3000 \text{ м}^3/\text{с}$. Нетрудно понять, что среднесуточный расход за 1 мес. при таком гидрографе составляет $1360 \text{ м}^3/\text{с}$. Это незначительно превосходит среднемноголетний навигационный расход в $1300 \text{ м}^3/\text{с}$.

Моделировались 3 режима работы водосбросной плотины проектируемого гидроузла:

Вариант № 1. Работают центральные пролеты № 6-11.

Вариант № 2. Работают пролеты слева № 11-16.

Вариант № 3. Работают пролеты № 1, 4, 7, 10, 13, 16.

Результаты расчетов показали, что максимальные скорости при трех вариантах работы плотины вблизи водозабора составляют $0.2\text{--}0.4 \text{ м/с}$.

Отложения наносов вблизи водозабора при всех рассмотренных вариантах после первой и второй навигаций не превышают 0.1 м , что лежит в пределах точности расчетов. Масса наносов, поступающих в водозабор, показана на графиках (рис. 4).

После первой навигации общая масса наносов, поступивших в водозабор, составит 1.5 т для трех вариантов работы водосбросной плотины. По итогам второй навигации при втором варианте расположения регулируемых пролетов водосбросной плотины общая масса наносов несколько выше, чем в первом и втором: 3.2 т для второго варианта работы, 3 т – при вариантах 1 и 3.

Результаты моделирования транспорта наносов и русловых переформирований в нижнем

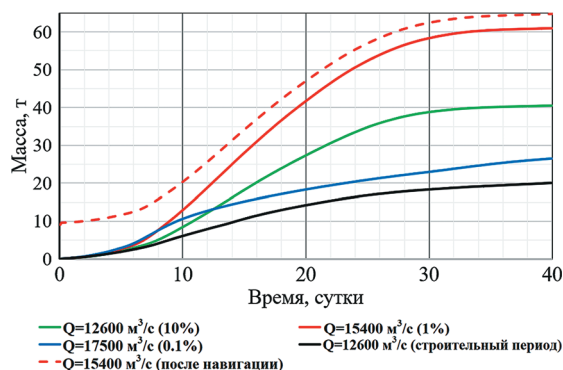


Рис. 3. Масса наносов, поступающих в Сормовский водозабор, при расчете половодий

Fig. 3. Mass of sediments entering the Sormovo water intake when calculating floods

бьефе вблизи нижерасположенного Сормовского водозабора при работе земснарядов. Для обеспечения условий судоходства в верхнем и нижнем бьефах при строительстве и эксплуатации проектируемого Нижегородского низконапорного гидроузла планируются дноуглубительные работы для обеспечения необходимых габаритов судовых ходов и предплюзовых рейдов. Необходимо определить воздействие на Сормовский водозабор в период гидромеханизированных работ на о. Ревякский и при дноуглубительных работах на судовом ходу в нижнем бьефе гидроузла (рис. 5).

Рассматривался период проведения дноуглубительных работ продолжительностью 154 сут. По реке задавался гидрограф, эквивалентный реальному гидрографу суточного регулирования на Нижегородской ГЭС. В верхнем бьефе в течение этого времени задавалась равномерная подача грунта в воду в размере 15% от общего объема работ, то есть $0.15 \times 570 \text{ тыс. м}^3 = 85.5 \text{ тыс. м}^3$. В нижнем бьефе учитывалась работа только одного земснаряда, расположенного выше Сормовского водозабора, то есть учитывалось попадание в воду $0.15 \times 875.11 \text{ тыс. м}^3 = 131.27 \text{ тыс. м}^3$. Дно

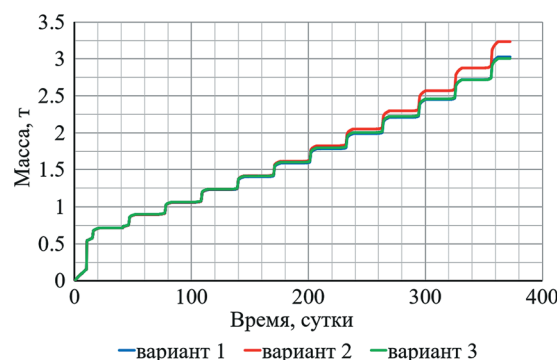


Рис. 4. Масса наносов, поступающих в Сормовский водозабор, при расчете 2 навигаций с разными вариантами работы водосбросной плотины

Fig. 4. Mass of sediments entering the Sormovo water intake when calculating 2 navigations with different options for the operation of the spillway dam

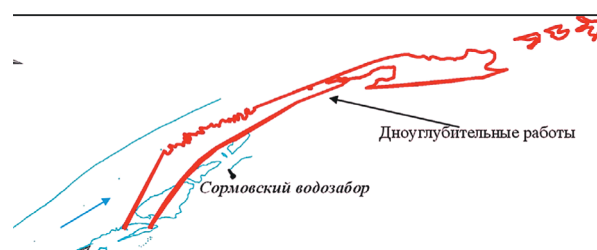


Рис. 5. Область работ по углублению русла ниже створа проектируемого гидроузла

Fig. 5. Area of work for deepening the channel below the alignment of the designed hydraulic complex

реки в период этих расчетов принималось неразмываемым, чтобы выделить именно влияние работы земснарядов без учета общих и местных деформаций русла. В расчете рассматривался грунт двух фракций: фракция 1 с $d_{50} = 0.25$ мм; $d_{90} = 0.5$ мм; фракция 2 с $d_{50} = 0.1$ мм; $d_{90} = 0.5$ мм.

В результате расчета в Сормовский водозабор попало 1.86 т грунта, в основном мелкой фракции 2 крупностью 0.1 мм. Разделив эту величину на продолжительность работы земснарядов, получим среднесуточное попадание наносов в Сормовский водозабор по причине дноуглубительных работ в строительный период в размере 12 кг/сут.

Как следует из графика (рис. 6), поступление наносов в водозабор является довольно неравномерным и связано с величиной попусков Нижегородской ГЭС (максимальное при максимальных попусках).

На рисунке 7 представлено поле отложений взмучиваемого земснарядами грунта на конец дноуглубительных работ в строительный

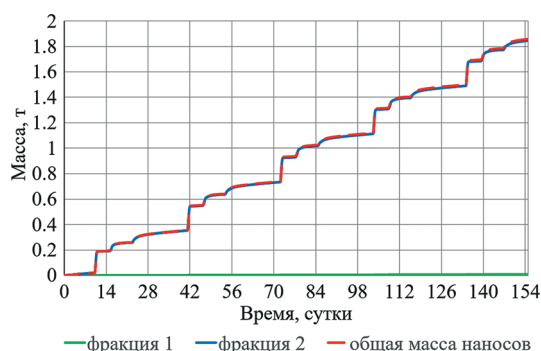


Рис. 6. Масса наносов, поступившая в Сормовский водозабор, в период гидромеханизированных работ

Fig. 6. Mass of sediments entering the Sormovo water intake in the period of hydro mechanized works

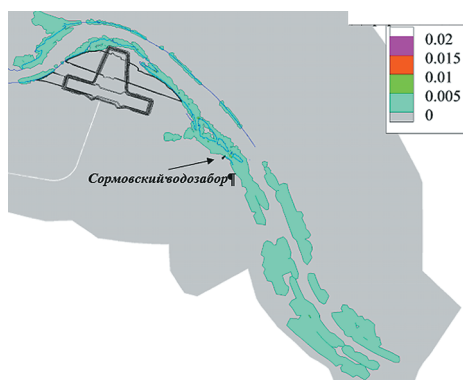


Рис. 7. Поле отложений поступивших при работе земснарядов наносов на дне р. Волга на конец навигации

Fig. 7. Field of sediments entered during the operation of sediment dredgers at the bottom of the Volga River at the end of navigation

период. Фактически зона этих отложений соответствует осредненному за период навигации шлейфу мутности.

Выводы

Результаты моделирования показали, что деформации дна в районе водозабора являются незначительными. Примерно такие же деформации могут происходить и в естественных (бытовых) условиях, особенно в период высоких половодий.

Поступление наносов непосредственно с забираемой водой в высокие половодья является весьма значительным и может достигать 45-90 т за период паводка. Но существенная часть этих наносов может оседать в водозаборном ковше и в дальнейшем удаляться механическим способом. По-видимому, и без строительства гидроузла в паводок в водозабор будет попадать значительная часть от приведенной выше массы наносов.

Дноуглубительные работы на этапе эксплуатации будут в меньшей степени оказывать влияние на работу водозабора, чем в период строительства. Однако в начале периода эксплуатации гидроузла (особенно в первые 2 года) за счет интенсивных переформирований дна русла в нижнем бьефе в навигационный период на водозабор будет поступать в среднем 8 кг/сут. грунта. Поэтому суммарно с учетом обоих рассматриваемых факторов в навигационный период на Сормовский водозабор будет поступать в среднем не более 20 кг/сут. наносов преимущественно мелкой крупности, или не более 3.5 т за навигацию. Эта величина является незначительной (около 0.1 г/м³ забираемой воды), и какие-либо специальные дополнительные мероприятия по защите Сормовского водозабора от наносов в период навигации не потребуются.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0003 «Разработка численных моделей гидрологических, гидродинамических и гидрохимических процессов в водных объектах и их водосборных бассейнах, создание на основе разработанных моделей технологий поддержки решений в сфере водной безопасности для информационной модернизации водохозяйственной отрасли России»)

The work was carried out within the framework of the State Task of the IWP RAS (the theme FMWZ-2022-0003 is «Development of numerical models of hydrological, hydrodynamic and hydro chemical processes in water bodies and their watersheds, creation on the basis of the developed models of technologies to support solutions in the field of water security for information modernization of the water sector of Russia»)

Список использованных источников

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660266. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологий Computer Unified Device Architecture (на графических процессорах NVIDIA). Москва, 2017.
2. Алексюк А.И., Беликов В.В. Моделирование течений мелкой воды с областями обмеления и разрывами дна // Вычислительная математика и математическая физика. 2017. Т. 57, № 2. С. 316-338.
3. Alekseyuk A.I., Belikov V.V. The uniqueness of the exact solution of the Riemann problem for the shallow water equations with discontinuous bottom // Journal of Computational Physics. 2019. Vol. 390. Pp. 232-248. Aug. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2019.04.001>.
4. Alekseyuk A.I., Malakhov M.A., Belikov V.V. The exact Riemann solver for the shallow water equations with a discontinuous bottom // Journal of Computational Physics. 2022. Vol. 450. Pp. 110801. Doi: 10.1016/j.jcp.2021.110801.
5. Беликов В.В., Алексюк А.И. Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики: монография. М.: РАН, 2020. 346 с.
6. Беликов В.В., Борисова Н.М., Гладков Г.Л. Математическая модель транспорта наносов для расчета заносимости дноуглубительных прорезей и русловых карьеров // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. Т. 2. С. 105-113.
7. Belikov V.V. Use of Accumulation Basins to Reduce Silting of Reservoirs of Hydroelectric Power Plants Located on Mountain Rivers / V.V. Belikov, A.I. Alekseyuk, N.M. Borisova, T.A. Fedorova // Power Technology and Engineering. 2019. 53 (4). Pp. 429-439. Doi: 10.1007/s10749-019-01095-9.
8. Беликов В.В. Гидравлическое обоснование проекта Багаевского гидроузла с применением численного гидродинамического моделирования / Борисова Н.М., Алексюк А.И., Румянцев А.Б. и др. // Гидротехническое строительство. 2018. № 5. С. 19-35.
9. Krylenko I.N. Analysis of the impact of hydrotechnical construction on the Amur river near Blagoveshchensk and Heihe cities using a two-dimensional hydrodynamic model / Belikov V.V., Fingert E.A., Golovlev P.P. // Water resources. 2018. Vol. 45, № S1. S. 112-121.
10. Беликов В.В. Применение ям-ловушек для уменьшения заиливания водохранилищ ГЭС на горных реках / Алексюк А.И., Борисова Н.М., Федорова Т.А. // Гидротехническое строительство. 2019. № 6. С. 12-24.

Критерии авторства

Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 03.03.2023

Одобрена после рецензирования 21.03.2023

Принята к публикации 01.04.2023

References

1. Certificate of state registration of the computer program No. 2017660266. STREAM 2D CUDA software package for calculating currents, bottom deformations and transferring contaminants in open streams using Computer Unified Device Architecture technologies (on NVIDIA GPUs) // Moscow, 2017.
2. Alekseyuk A.I., Belikov V.V. Modeling of shallow water currents with areas of shallowing and bottom ruptures. // Computational mathematics and mathematical physics. T. 57. № 2. S. 316-338.
3. Alekseyuk A.I., Belikov V.V. The uniqueness of the exact solution of the Riemann problem for the shallow water equations with discontinuous bottom // Journal of Computational Physics, vol. 390, pp. 232-248, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2019.04.001>
4. Alekseyuk A.I., Malakhov M.A., Belikov V.V. The exact Riemann solver for the shallow water equations with a discontinuous bottom // Journal of Computational Physics. 2022, vol. 450, p. 110801, 2022, doi: 10.1016/j.jcp.2021.110801
5. Belikov V.V., Alekseyuk A.I. Models of shallow water in the problems of river hydrodynamics: monograph. M.: RAS, 2020. 346 p.
6. Belikov V.V., Borisova N.M., Gladkov G.L. Mathematical model of sediment transport for calculating the drift of dredging slots and channel quarries. Journal of the University of water communications, 2010, Vol. 2 P. 105-113
7. Belikov V.V. Use of Accumulation Basins to Reduce Silting of Reservoirs of Hydroelectric Power Plants Located on Mountain Rivers / Alekseyuk A.I., Borisova N.M., Fedorova T.A. // Power Technology and Engineering. 53(4), 429-439 (2019) doi: 10.1007/s10749-019-01095-9
8. Belikov V.V. Hydraulic substantiation of the project of the Bagayevsky hydroelectric complex using numerical hydrodynamic modeling. / Borisova N.M., Alekseyuk A.I. Rumyantsev A.B. and others. // Hydro technical construction, 2018, No 5, P. 19-35.
9. Krylenko I.N. Analysis of the impact of hydrotechnical construction on the Amur river near Blagoveshchensk and Heihe cities using a two-dimensional hydrodynamic model / Belikov V.V., Fingert E.A., Golovlev P.P. // Water resources. 2018, vol. 45, № S1, S112-S121.
10. Belikov V.V. The use of pit traps to reduce the silting of hydroelectric power plants reservoirs on mountain rivers / Alekseyuk A.I., Borisova N.M., Fedorova T.A. // Hydro technical construction. 2019. № 6. p. 12-24

Criteria of authorship

Glutko A.V., Vasiljeva E.S., Belikov V.V., Borisova N.M. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 03.03.2023

Approved after reviewing 21.03.2023

Accepted for publication 01.04.2023

Оригинальная статья

УДК 627.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-92-98



РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОЙ ПЕРЕМЫЧКИ СУХОГО ДОКА С УЧЕТОМ ЕЕ ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЯ

Рубин Олег Дмитриевич¹, д-р техн. наук, директор филиала

SPIN-код: 2720-6627, AuthorID: 423001; o.rubin@hydroproject.ru

Антонов Антон Сергеевич^{1,2✉}, канд. техн. наук, главный инженер, доцент НИУ МГСУ

SPIN-код: 7374-6867, AuthorID: 238171; ORCID: 0000-0002-8310-9604; SCOPUS: 57197566337; ResearcherID: AAC-7597-2022; antonov.an.s@yandex.ru

Баклыков Игорь Вячеславович¹, главный специалист филиала

SPIN-код: 7987-9045, AuthorID: 915462; i.baklykov@hydroproject.ru

Юрченко Александр Николаевич^{2✉}, канд. техн. наук, доцент

AuthorID: 487651; YurchenkoAN@mgsu.ru

¹ Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука – НИИ энергетических сооружений», (АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС»); 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 2, Россия

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Аннотация. Для строительства основания гравитационного типа в непосредственной близости от залива используется сухой док, который представляет собой котлован больших размеров в плане. Внутренний объем сухого дока, который используется для эксплуатации, формируют шпунтовые стенки и временная грунтовая перемычка. Потребовалось расчетное обоснование временной грунтовой перемычки. Целью работы являлось определение напряженно-деформированного состояния, проверка несущей способности конструкций грунтовой перемычки (шпунтовых ограждений, анкерных стержней) и общей устойчивости грунтовых призм системы «Сооружение-ограждающий грунтовой массив» с учетом ее перепрофилирования. Выполнены расчеты конструкции шпунтовой ограждающей стены котлована под фундамент контрфорса с уточнением достаточности принятых в чертежах решений по длине и расстоянию между анкерными стержнями и отметками низа шпунтовых стен по сечению, а также раскосов в западном примыкании и необходимости установки геотехнических анкеров. Расчеты выполнены в программном комплексе PLAXIS. В конечно-элементной модели реализованы: условия контактного взаимодействия сред; нелинейные и пластичные свойства материалов; геометрическая нелинейность в виде поэтапности возведения и последовательности приложения нагрузок.

Ключевые слова: сухой док, грунтовая перемычка, шпунтовая ограждающая стенка, анкерная тяга, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние, устойчивость откоса, фильтрация

Формат цитирования: Рубин О.Д., Антонов А.С., Баклыков И.В., Юрченко А.Н. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости грунтовой перемычки сухого дока с учетом ее перепрофилирования // Природообустройство. 2023. № 2. С. 92-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-92-98.

© Рубин О.Д., Антонов А.С., Баклыков И.В., Юрченко А.Н., 2023

Original article

RESULTS OF CALCULATIONS OF THE STRESS-STRAIN STATE AND STABILITY OF THE GROUND COFFERDAM OF THE DRY DOCK, TAKING INTO ACCOUNT ITS RE-PROFILING

Rubin Oleg Dmitrievich¹, doctor of technical sciences, director of the branch of JSC «Institute «Hydroproject»-«NIIES»

SPIN-код: 2720-6627, AuthorID: 423001; o.rubin@hydroproject.ru

Antonov Anton Sergeyevich^{1,2}, candidate of technical sciences, chief engineer for equipment and HTS of the branch of JSC «Institute «Hydroproject»-«NIIES»

SPIN-код: 7374-6867, AuthorID: 238171; ORCID: 0000-0002-8310-9604; SCOPUS: 57197566337; ResearcherID: AAC-7597-2022; antonov.an.s@yandex.ru

Baklykov Igor Vyacheslavovich², chief specialist of the branch of JSC «Institute «Hydroproject»-«NIIES»

SPIN-код: 7987-9045, AuthorID: 915462; i.baklykov@hydroproject.ru

Yurchenko Alexander Nikolaevich^{2✉}, candidate of technical sciences, associate professor of the department GIGS NRU MGSU

AuthorID: 487651; YurchenkoAN@mgsu.ru

¹ Branch of JSC «Design, Survey and Research Institute «Hydroproject» named after S.Ya. Zhuk – Research Institute of Energy Structures», (JSC «Institute Hydroproject»-«NIIES»), 125080, Moscow, Volokolamskoe sh., 2, Russia

² Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia

Annotation. The purpose of the work was to determine the stress-strain state, to check the bearing capacity of structures (sheet pile walls, anchor rods) and the overall stability of soil prisms of the «structure-enclosing soil mass» system, taking into account its re-profiling. According to the scope of work, computational study of the sheet pile wall structure of the excavation under the buttress foundation was performed (specifying the adequacy of the solutions adopted in the drawings for the length and spacing of the tie rods and the bottom marks of the sheet pile walls by section, as well as the struts in the west abutment and the need for geotechnical anchors. The computational studies were carried out with the PLAXIS software package. In the finite-element model there were realized: conditions of contact interaction of media; nonlinear and plastic properties of materials; geometrical nonlinearity in the form of staggered erection and sequence of loadings application.

Keywords: sheet piling, tie rods, finite element model, combination of loads, stress-strain state, slope stability, filtration

Format of citation: Rubin O.D., Antonov A.S., Yurchenko A.N., Baklykov I.V. Results of calculations of the stress-strain state and stability of the ground cofferdam of the dry dock, taking into account its re-profiling // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 92-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-92-98.

Введение. Сухой док предназначен для строительства основания гравитационного типа. Сухой док представляет собой котлован больших размеров в плане, расположенный в непосредственной близости от залива. Внутренний, эксплуатационный объем сухого дока образуют шпунтовые стенки и временная грунтовая перемычка. План сооружений представлен на рисунке 1.

Цель исследований: расчеты по определению напряженно-деформированного состояния, проверке несущей способности конструкций

грунтовой перемычки (шпунтовых ограждений, анкерных тяг), а также общей устойчивости грунтовых призм системы «Сооружение-ограждающий грунтовый массив» с учетом ее перепрофилирования.

Расчеты выполнены для конструкции шпунтовой ограждающей стенки котлована под фундамент батопорта, уточнения достаточности принятых в чертежах решений по длине и шагу анкерных тяг, отметок низа шпунтовых стен по сечению, а также распорных конструкций в западном примыкании и необходимости установки геотехнических анкеров.

Отметка гребня перемычки на естественных грунтах составляет 4,00 м; ширина гребня – 23,50 м; длина по гребню – 236,30 м; заложение верхового откоса – 1:1,5 (усредненное, с учетом устройства берм 1:2); заложение низового откоса – 1:2.

Разрез по временной грунтовой перемычке представлен на рисунке 2. Перемычка является сооружением II класса.

Материалы и методы исследований.

При проведении расчетов характеристики материалов грунтов принимались в соответствии

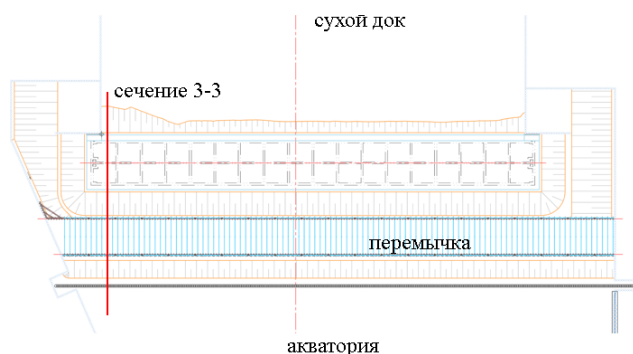


Рис. 1. План перемычки сухого дока

Fig. 1. Dry dock jumper plan

с результатами геотехнических исследований. Геологическое строение и геометрические параметры сечения и его конструктивных элементов принимались по комплексу проектных чертежей. Расчет выполнялся в программном комплексе PLAXIS [1-4].

Расчет устойчивости выполнен на основании СП 39.13330.2012 [5]. Также учтены требования к расчетным моделям Федерального закона о безопасности зданий и сооружений № 384-ФЗ [6].

Методика моделирования системы «Сооружение-ограждающий грунтовый массив». Расчеты проводились методом конечных элементов с использованием программного комплекса «PLAXIS» на основе методики численного моделирования, разработанной специально для анализа деформаций и устойчивости геотехнических сооружений и успешно применяемой для расчетного обоснования отечественных и зарубежных гидроузлов, в рамках пакета геотехнических программ для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния системы «Сооружение-основание».

Для аппроксимации выбранной расчетной области были построены конечно-элементные модели на основе неструктурированных сеток из 6 узловых элементов, которыми моделировались грунтовые слои и массивы.

В расчетах использовались уравнения упругопластической среды, соответствующие нормативному описанию грунта: упругие деформации связаны с напряжением, обобщенным законом Гука, а в предельном состоянии принимается пластическое течение без объемных пластических деформаций и без упрочнения. Критерием состояния предельного равновесия является условие текучести Кулона-Мора [7, 8].

В основании конструкции моделировались особенности инженерно-геологического строения грунтового массива. Основание моделировалось послойно с учетом геологического состава, принятого для расчетной области.

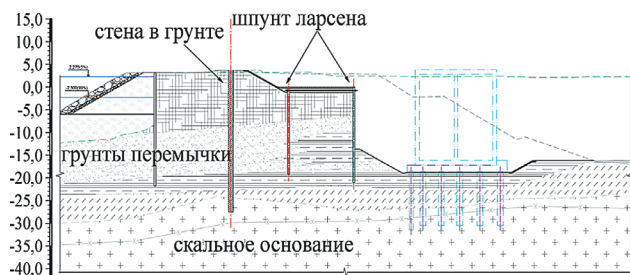


Рис. 2. Разрез по грунтовой перемычке сухого дока

Fig. 2. Section along the cofferdam of the dry dock

В качестве граничных условий были приняты жесткие вертикальные связи по нижней грани области и горизонтальные связи по боковым границам грунтовых элементов конечно-элементной области.

На рисунке 3 представлена конечно-элементная модель в расчетном сечении грунтовой перемычки. Размерность КЭ модели сечения составляет: 4619 узлов; 2168 элементов.

В конечно-элементной модели реализованы: условия контактного взаимодействия сред; нелинейные и пластичные свойства материалов; геометрическая нелинейность в виде поэтапности возведения и последовательности приложения нагрузок.

В расчете рассмотрено основное сочетание нагрузок как наиболее неблагоприятное с точки зрения устойчивости и напряженного состояния.

Методика моделирования трубошпунтовых стенок и анкерных тяг. Трубошпунтовые стенки моделировались с помощью элементов типа «Плита» – линейные 3- или 5-узловые элементы [9].

Анкерные тяги моделировались с помощью стержневых элементов «Межузловой анкер» типа «Пружинные элементы». Тип и характеристика элемента: 2-узловой пружинный невесомый элемент, работающий на осевое сжатие (стойка) или осевое растяжение (анкерная тяга); определяемые в узле перемещения U , V ; возможное задание предварительного напряжения. Расчетные характеристики элемента: EA (кН) – продольная жесткость; L_s (м) – шаг расстановки; $F_{max, tens}$ (кН) – максимальное растягивающее усилие; $F_{max, comp}$ (кН) – максимальное сжимающее усилие [10].

Нормативные и расчетные показатели физико-механических свойств грунтов и показатели физических свойств грунтов принимались по обобщенным данным инженерно-геологических изысканий.

Результаты и их обсуждение. Основные этапы, связанные с перепрофилированием

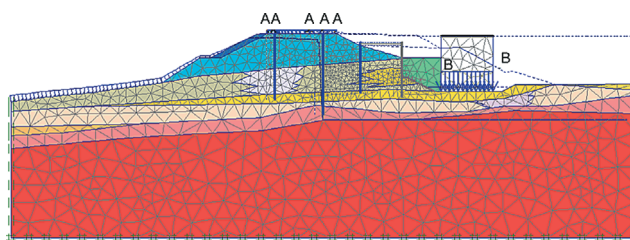


Рис. 3. Конечно-элементная модель для расчетного сечения

Fig. 3. Finite element model for the calculated section

перемычки для сечения, представлены следующими позициями:

- Этап 1. Начальный этап (естественная поверхность земли).
- Этап 2. Возведение перемычки и стены в грунте.
- Этап 3. Забивка шпунтовых свай и установка анкерных тяг.
- Этап 4. Разработка грунта за шпунтовой стенкой до отм. –17,20 м.
- Этап 5. Разработка грунта за шпунтовой стенкой до отм. –18,80 м.
- Этап 6. Возведение батопорта.
- Этап 7. Засыпка пазухи между шпунтом и батопортом до отм. –6,00 м.
- Этап 8. Удаление анкерных тяг между шпунтами.
- Этап 9. Удаление шпунта Ларсена.

Для проверки общей устойчивости грунтовой перемычки, а также несущей способности анкерных тяг, ограждающей стенки котлована под фундамент батопорта сухого дока в сечении выполнены расчеты основного сочетания нагрузок и получены результаты на следующих этапах перепрофилирования контура перемычки: этап возведения конструкций батопорта (этап 6); этап удаления анкерных тяг между шпунтовыми ограждениями (этап 8); этап удаления шпунта Ларсена (этап 9).

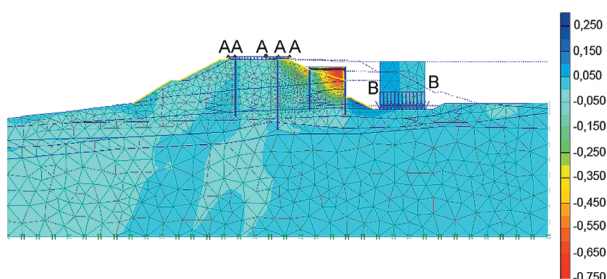


Рис. 4. Вертикальные перемещения (м) на этапе 6 возведения батопорта

Fig. 4. Vertical displacements (m) at stage 6 of the buttress erection

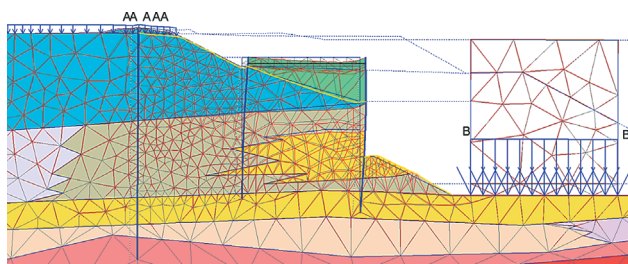


Рис. 5. Деформированное состояние конструкций шпунтового ограждения на этапе 6

Fig. 5. Deformed state of the sheet piling structures at stage 6

На этапе 6 возведения батопорта можно проследить существенное влияние строительных работ на борта котлована от разгрузки с последующим возведением батопорта.

На рисунке 4 представлены вертикальные перемещения, мм, на этапах 5 и 6. Как следует из рисунка А, вертикальные перемещения профиля перемычки составили 5,0 мм, перемещения от веса конструкций батопорта – 45,10 мм.

На рисунке 5 представлено деформированное состояние шпунтовых ограждений на этапе 6. Как следует из рисунка, конструкции ограждений, анкерные тяги и грунтовая призма перемычки активно взаимодействуют. При этом наиболее нагруженным шпунтовым ограждением является ограждение со стороны котлована батопорта. На рисунке 6 представлены эпюры осевых усилий, полученные в ограждении со стороны котлована батопорта. Усилия растяжения в анкерных тягах составляют 52,8 кН.

Анализ устойчивости шпунтового ограждения, как элемента системы из грунтовой перемычки анкерных тяг и ограждений, показывает, что система является устойчивой на этапе возведения батопорта – этап 6 (рис. 7). Коэффициент устойчивости составляет 1,262. Следует отметить необходимость крепления откосов во избежание снижения устойчивости ниже нормативных значений.

Расчет параметров фильтрационного потока. В результате расчета фильтрационного потока получены напоры в основании и сооружении,

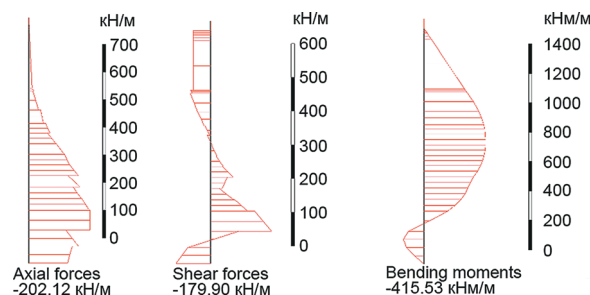


Рис. 6. Эпюры осевых усилий, поперечных усилий, изгибающих моментов шпунтового ограждения со стороны котлована батопорта на этапе 6

Fig. 6. Diagrams of axial forces, transverse forces, bending moments of the sheet piling on the side of the floating bulkhead excavation at stage 6

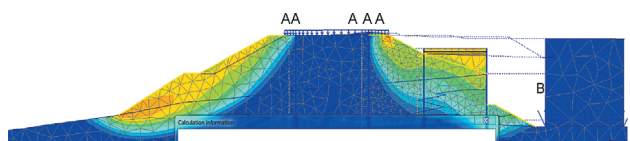


Рис. 7. Результаты расчета устойчивости на этапе 6

Fig. 7. Stability calculation results at stage 6

положение кривой депрессии, расход. На рисунке 8 представлено распределение порового давления фильтрационного потока.

Градиенты напора и расходы фильтрационного потока внутри расчетной области сведены в таблицу.

Фильтрационная прочность основания оценивалась путем сравнения расчетных градиентов напора с их критическими значениями согласно выражению

$$\gamma_{lc} F_0 \leq \frac{\gamma_c R_0}{\gamma_n},$$

где $F_0 = I_{est,m}$ – осредненный градиент напора вдоль основания грунтового сооружения переменычки:

$$F_0 = I_{est,m} = \frac{22.06}{82} = 0.26.$$

За значение R_0 принимается критический градиент напора $I_{cr,m}$ согласно п. 5.31 СП 23.13330.2018. Для супесей $I_{cr,m} = 0.6$.

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,20 для сооружений II класса;

γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый равным 1,00 при основном сочетании нагрузок;

γ_c – коэффициент условий работы, учитывающий тип сооружения, принимаемый равным 1,00:

$$1,0 \times 0,26 \leq \frac{\gamma_{lc} \times R_0}{\gamma_c} = \frac{1,00 \times 0,60}{1,20}.$$

$0,26 \leq 0,49$, фильтрационная прочность основания обеспечивается.

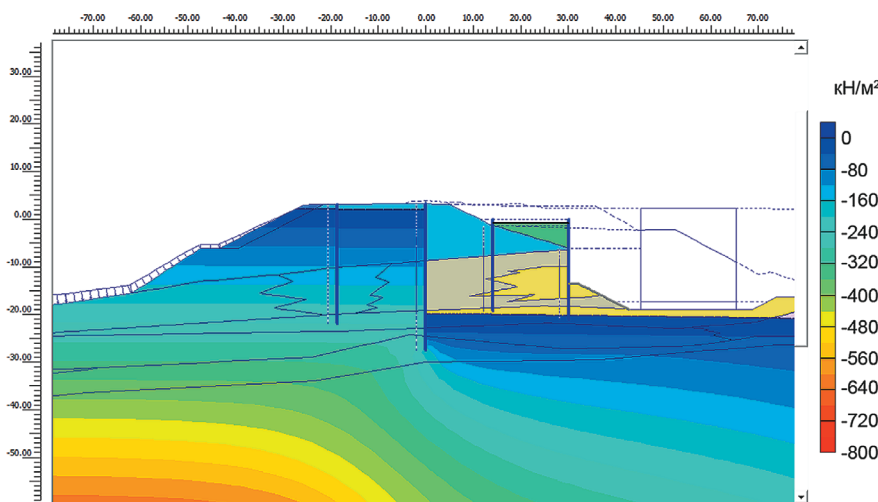


Рис. 8. Поровое давление на этапе 6, кПа

Fig. 8. Pore pressure at stage 6, kPa

Таблица. Расходы и градиенты напора фильтрационного потока внутри расчетной области основания для сечения

Table. Flow rates and pressure gradients of the filtration flow inside the design area of the cross-section base

Конструктивный элемент Structural element	Расположение элемента Location of the element	Полный фильтрационный расход, м³/сут. м Full filtration flow rate, m³ / day. m	Уровень воды в гипотетической скважине, м Water level in a hypothetical well, m
Шпунтовая стенка в сечении 3 Sheet pile wall in cross-section	Тело переменычки отм. -1,2...-18,6 м Body of the cofferdam Level -1.2...-18.6 m	0,215	-20,95
	Основание переменычки отм. -18,6...-29,7 м Base of the cofferdam Level. -18.6...-29.7m	0,987	

Перемещения на этапе 6 в условиях неустановившегося режима фильтрации. При расчетах НДС для сечения на этапе 6 были получены наибольшие горизонтальные смещения грунтового массива переменычки, а также значения усилий в расчетных сечениях, эпюры которых представлены на рисунке 9.

На этапе 8, при удалении анкерных тяг между шпунтами и при засыпке пазухи между шпунтом и батопортом до отм. -6,00 м, система шпунтовых ограждений разгружается, так как стенка со стороны котлована передает часть изгибающих усилий на засыпку пазухи.

Анализ устойчивости шпунтового ограждения, как системы из грунтовой переменычки анкерных тяг и ограждений, показывает, что система является устойчивой на этапе 8. Устойчивость повышается за счет отсыпки пазухи между шпунтом и батопортом до отм. -6,00 м. Коэффициент устойчивости составляет более 1,253. Соответственно все конструкции в системе находятся в устойчивом состоянии, их перемещения невелики, а несущая способность обеспечена.

При удалении шпунта Ларсена (этап 9) несущая способность

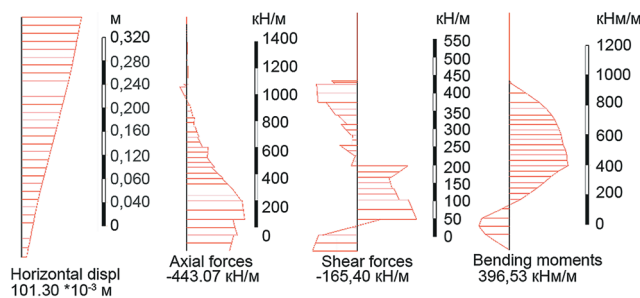


Рис. 9. Эпюры смещений, осевых и поперечных усилий, изгибающих моментов шпунтового ограждения со стороны котлована батопорта на этапе 8

Fig. 9. Axial forces, shear forces, bending moments of the sheet piling on the side of the water-trap excavation at stage 8

в ограждении со стороны перемычки существенно не изменяется, так как стенка уже не связана тягами, в том числе отсутствует какое-либо влияние на общую устойчивость перемычки. Таким образом, засыпка пазухи (этап 7) является необходимой, чтобы можно было безопасно удалить шпунт Ларсена.

Наиболее ответственными этапами относительно максимальных усилий и перемещений, на которые следует обязательно обратить внимание с точки зрения общей устойчивости системы и несущей способности шпунтовых ограждений, являются этапы разгрузки котлована и возведения конструкций батопорта (этапы 5, 6).

Расчет прочности шпунта для сечения:

Профиль шпунтовой сваи PU32+1: $W = 3340 \text{ см}^3$ (на 1 пог. м).

Сталь S355J2 EN10025-2: $R_{yn} = 355 \text{ МПа}$.
 $\gamma_c = 0.9$; $\gamma_m = 1.05$; $\gamma_n = 1.20$; $\gamma_s = 1.30$;
 $R_y = 0.9 \cdot 355 / 1.05 \cdot 1.20 \cdot 1.30 = 195 \text{ МПа}$.

$\sigma = M/W = 0.4155 / 0.00334 = 124 \text{ МПа} < R_y = 195 \text{ МПа}$.

Таким образом, сечение отвечает требованиям прочности по СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81».

Расчет прочности анкерной тяги для сечения:

Анкерная тяга с проушиной Ø56/64 × 6 × В/250 RH: $A = 24.6 \text{ см}^2$, $L = 2400 \text{ мм}$.

Сталь S355J2 EN10025-2: $R_{yn} = 355 \text{ МПа}$.
 $\gamma_c = 0.9$; $\gamma_m = 1.05$; $\gamma_n = 1.20$; $\gamma_s = 1.30$;
 $R_y = 0.9 \cdot 355 / 1.05 \cdot 1.20 \cdot 1.30 = 195 \text{ МПа}$.

$\sigma = N \cdot L / A = 0.0528 \cdot 2.4 / 0.00246 = 51.5 \text{ МПа} < R_y = 195 \text{ МПа}$.

Таким образом, сечение отвечает требованиям прочности по СП 16.13330.2017.

Расчет устойчивости шпунта для сечения:

Анализ устойчивости шпунта для сечения показывает, что система является устойчивой

при выполнении перепрофилирования перемычки сухого дока.

Критерием обеспечения устойчивости (несущей способности) системы «Сооружение-основание» по СП 287.1325800.2016 является выполнение условия:

$$\frac{R}{F} > \frac{\gamma_{lc} \times \gamma_n}{\gamma_c} = \frac{1.00 \times 1.20}{1.00} = 1.20.$$

Коэффициент устойчивости составляет $1.252 > 1.20$ для этапа 6; $1.253 > 1.20$ – для этапа 8. Соответственно все конструкции в системе находятся в устойчивом состоянии, их перемещения невелики, а несущая способность обеспечена.

Выводы

1. Выполнены расчеты устойчивости грунтовой перемычки уточненного профиля с учетом шпунтовой стенки; напряженно-деформированного состояния шпунтовой ограждающей стенки котлована фундамента батопорта; устойчивости шпунтового ограждения котлована фундамента батопорта (с уточнением его глубины, размеров и размещения анкерных тяг) без установки грунтовых анкеров. Коэффициент запаса устойчивости для расчетного этапа 6 составил 1,252, для расчетного этапа 8 – 1,253. Полученные коэффициенты устойчивости больше нормативного 1,20.

2. Конструкция шпунтовой ограждающей стенки удовлетворяет требованиям прочности по СП 16.13330.2017. Анализ устойчивости шпунтовой ограждающей стенки показывает, что система является устойчивой при выполнении перепрофилирования перемычки сухого дока по СП 287.1325800.2016.

3. В результате расчетов установлено, что устойчивость грунтовой перемычки повышается за счет отсыпки пазухи между шпунтом и батопортом до отм. –6,00 м. Коэффициент устойчивости больше нормативного. Соответственно все конструкции грунтовой перемычки находятся в устойчивом состоянии, их перемещения невелики, а несущая способность обеспечена.

4. В результате расчетов установлено, что при удалении шпунта Ларсена несущая способность в ограждении со стороны перемычки существенно не изменяется, так как стенка уже не связана тягами, в том числе отсутствует какое-либо влияние на общую устойчивость перемычки. Таким образом, засыпка пазухи является необходимым этапом, чтобы можно было безопасно удалить шпунт Ларсена.

5. В результате расчетов установлено, что наиболее ответственными этапами относительно

максимальных усилий и перемещений, на которые следует обратить внимание с точки зрения общей устойчивости системы и несущей способности

Список использованных источников

1. Alkhafaji, Hazim & Imani, Meysam & Fahimifar, Ahmad. Determining the Stress-Settlement Distribution of a Gravity Dam Foundation Considering Different Water Levels Using Finite Element Method. 2021. DOI: 10.1007/978-981-15-9399-4-19.
2. Bayat, Mandana & Eslamian, Saeid & Shams, Reza & Hajiannia, Alborz. The 3D analysis and estimation of transient seepage in earth dams through PLAXIS3D software: neural network: Case study: Kord-Oliya Dam, Isfahan province. Iran: Environmental Earth Sciences, 2019. 78. 10.1007/s12665-019-8405-y.
3. Das, Rajeev & Soulaïmani, Azzeddine. Global sensitivity analysis in the design of rockfill dams. 2019.10.1201/9780429319778-82.
4. Firoozi, Ali & Taha, Mohd & Naveen, Dr. BP & Firoozi, Ali Asghar. A Case Study: Design and Construction of Pile and Numerical Simulation by Plaxis // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2014. № 8. Pp. 30-33.
5. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная СНиП 2.06.05-84. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095521>.
6. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон № 117-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046062>.
7. Baotang Shen, Jingyu Shi, Nick Barton, An approximate nonlinear modified Mohr-Coulomb shear strength criterion with critical state for intact rocks // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2018. Vol. 10. Iss. 4. Pp. 645-652.
8. Hassani, Rahim & Basirat, Rouhollah & Mahmoodian, Navid. Classical Method and Numerical Modeling for Designing of Sheet Pile Wall (Case Study: Tuti-Bahri Bridge, Sudan). 2016. 10.13140/RG.2.2.10294.91208.
9. Elbahkery, Aml & El Sawwaf, Mostafa & Nazir, Ashraf & Azzam, Waseim. BEHAVIOUR OF LATERALLY ANCHORED RETAINING SYSTEM IN LOOSE SAND SOIL // Journal of Engineering Research. 2021. 10.21608/erjeng.2021.78977.1016.
10. Yajneswaran, & Ranjan, H.S. & Rao, Subba. Analysis of the Effect of Anchor Rod on the Behavior of Diaphragm Wall Using Plaxis 3d // Aquatic Procedia. 2015. № 4. Pp. 240-247. 10.1016/j.aqpro.2015.02.033.
11. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588>.
12. СП 287.1325800.2016. Сооружения морские причальные. Правила проектирования и строительства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069590>.

Критерии авторства

Рубин О.Д. – общее руководство работой;
 Антонов А.С. – общее руководство работой;
 Баклыков И.В. выполнил практические и теоретические исследования, на основании которых провел обобщение результатов;
 Юрченко А.Н. выполнил практические исследования.
 Рубин О.Д., Антонов А.С., Баклыков И.В., Юрченко А.Н. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 11.01.2023

Одобрена после рецензирования 13.02.2023

Принята к публикации 28.03.2023

шпунтовых ограждений, являются этапы разгрузки котлована и возведения конструкций ба-топорта.

References

1. Alkhafaji, Hazim & Imani, Meysam & Fahimifar, Ahmad. (2021). Determining the Stress-Settlement Distribution of a Gravity Dam Foundation Considering Different Water Levels Using Finite Element Method. DOI: 10.1007/978-981-15-9399-4_19
2. Bayat, Mandana & Eslamian, Saeid & Shams, Reza & Hajiannia, Alborz. (2019). The 3D analysis and estimation of transient seepage in earth dams through PLAXIS3D software: neural network: Case study: Kord-Oliya Dam, Isfahan province, Iran. Environmental Earth Sciences. 78. 10.1007/s12665-019-8405-y.
3. Das, Rajeev & Soulaïmani, Azzeddine. (2019). Global sensitivity analysis in the design of rockfill dams. 10.1201/9780429319778-82.
4. Firoozi, Ali & Taha, Mohd & Naveen, Dr. BP & Firoozi, Ali Asghar. (2014). A Case Study: Design and Construction of Pile and Numerical Simulation by Plaxis. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 8. 30-33.
5. SP 39.13330.2012 – Dams made of ground materials. Actualization of SNiP 2.06.05-84 <https://docs.cntd.ru/document/1200095521>
6. Federal law 117-FZ About safety of hydraulic structures <https://docs.cntd.ru/document/9046062>
7. Baotang Shen, Jingyu Shi, Nick Barton, An approximate nonlinear modified Mohr-Coulomb shear strength criterion with critical state for intact rocks, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 10, Issue 4, 2018, Pages 645-652, ISSN 1674-7755, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.04.002>.
8. Hassani, Rahim & Basirat, Rouhollah & Mahmoodian, Navid. (2016). Classical Method and Numerical Modeling for Designing of Sheet Pile Wall (Case Study: Tuti-Bahri Bridge, Sudan). 10.13140/RG.2.2.10294.91208.
9. Elbahkery, Aml & El Sawwaf, Mostafa & Nazir, Ashraf & Azzam, Waseim. (2021). BEHAVIOUR OF LATERALLY ANCHORED RETAINING SYSTEM IN LOOSE SAND SOIL. Journal of Engineering Research. 10.21608/erjeng.2021.78977.1016.
10. Yajneswaran, & Ranjan, H.S. & Rao, Subba. (2015). Analysis of the Effect of Anchor Rod on the Behavior of Diaphragm Wall Using Plaxis 3d. Aquatic Procedia. 4. 240-247. 10.1016/j.aqpro.2015.02.033.
11. SP 16.13330.2017 – Steel structures. Actualized version of SNiP II-23-81 <https://docs.cntd.ru/document/456069588>
12. SP 287.1325800.2016 Offshore berthing facilities. Rule soles of designing and building <https://docs.cntd.ru/document/456069590>

Criteria of authorship:

Rubin O.D. – general management of the work;
 Antonov A.S. – general management of the work;
 Baklykov I.V. performed practical and theoretical studies, on the basis of which he summarized the results
 Yurchenko A.N. performed practical research.
 Rubin O.D., Antonov A.S., Baklykov I.V., Yurchenko A.N. have the copyright for the article and are responsible for the plagiarism.

The article was submitted to the editorial board 11.01.2023

Approved after peer review 13.02.2023

Accepted for publication 28.03.2023

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

УДК 627.83:627.88

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-99-105

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЬ РАСХОДОВ С СУЖАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА КАНАЛАХ ГОЛОВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ****Али Мунзер Сулейман** , канд. техн. наук, доцент

WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-код: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

Бегляров Давид Суменович , д-р техн. наук, профессор

viv@rgau-msha.ru

Наумова Анна Анатольевна, старший преподаватель

SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Назаркин Эдуард Евгеньевич, старший преподаватель

WoS ResearcherID: AAE-5123-2022; Scopus AuthorID: 57224938329; ORCID: 0000-0002-5933-6989; SPIN:7867-1127; AuthorID: 939300; ednazarkin@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Аннотация. В условиях возрастающего дефицита водных ресурсов проблема их экономии и рационального использования имеет первостепенное значение. Перестройка сложившейся системы учета воды должна осуществляться комплексно и поэтапно. При учете воды наибольшую сложность представляет проблема измерений расхода воды. В статье обобщены и представлены методики оценки погрешности, позволяющие объективно оценить соответствие расходомеров техническим условиям на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации. Эффективность учета воды во многом определяется и уровнем эксплуатации средств измерений. В связи с этим важную роль должна играть унификация процесса сбора, обработки и представления информации. Цель исследований – обоснование математической модели погрешности расходомеров с сужающимися устройствами по аналогии с методиками, регламентированных в действующих нормативных документах.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, канал, расходомер, сужающие устройства, давление, расход, плотность жидкости, скорость потока, результирующая погрешность

Формат цитирования: Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е. Анализ факторов, определяющих погрешность расходов с сужающимися устройствами на каналах головных насосных станций // Природообустройство. 2023. № 2. С. 99-105. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-99-105.

«Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»»

© Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е., 2023

Scientific article

ANALYSIS OF THE FACTORS DETERMINING THE ERROR OF FLOW WITH CONSTRICTING DEVICES ON CHANNELS OF HEAD PUMPING STATIONS**Ali Munzer Suleiman** , candidate of technical sciences, associate professor

WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-код: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

Beglyarov David Surenovich , doctor of technical sciences, professor
db4171@mail.ru

Naumova Anna Anatolyevna, senior lecturer

SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Nazarkin Eduard Evgenievich, senior lecturer

WoS ResearcherID: AAE-5123-2022; Scopus AuthorID: 57224938329; ORCID: 0000-0002-5933-6989; SPIN:7867-1127; AuthorID: 939300; ednazarkin@mail.ru

Russian State Agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

Annotation. *In the conditions of increasing scarcity of water resources, the problem of their economy and rational use is of paramount importance. The restructuring of the existing water metering system should be carried out in a comprehensive and step-by-step manner. When accounting for water, the greatest difficulty is the problem of measuring water flow. The paper summarizes and presents the methods of error estimation that allow us to objectively assess the compliance of flow meters with technical conditions at the stages of manufacture, installation and operation. The efficiency of water metering is largely determined by the level of operation of measuring instruments. In this regard, the unification of the process of collecting, processing and presenting information should play an important role. The purpose of the research is to substantiate a mathematical model of the error of flow meters with tapering devices by analogy with the methods regulated in the current regulatory documents.*

Keywords: *Hydraulic reclamation system, channel, flow meter, constricting devices, pressure, flow rate, liquid density, flow velocity, resulting error*

Format of citation: *Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. Analysis of the factors determining the error of flow with constricting devices on channels of head pumping stations // Prirodobustroystvo. 2023. No. 2. S. 99-105. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-99-105.*

The work was carried out at the expense of the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program "Priority-2030"

Введение. В последние годы с принятием двух федеральных целевых программ «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации» и «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы» наметился хотя и не кардинальный, но существенный прогресс в мелиоративных комплексах страны.

Следует отметить, что мелиорация земель является мощным фактором, влияющим на развитие агропромышленных комплексов в различных регионах и экономики в целом. Одной из наиболее острых проблем является по-прежнему высокий физический и моральный износ технологического оборудования (насосные агрегаты, запорная арматура и пр.) [1], а также системы учета воды на гидромелиоративных каналах [2]. К числу негативных примеров можно отнести недостаточную оснащенность объектов средствами измерений, отсутствие продуманной системы в их размещении, неудовлетворительное качество изготовления и монтажа средств измерений, нарушения в технологиях измерительных операций, представлении и использовании информации и др. [3].

Характерными особенностями расходомеров для потоков, определяющими специфику их изготовления, являются значительные габариты

и материалоемкость, а также наличие разнородных составных частей и комплектующих.

В состав почти каждого расходомера, кроме измерительных преобразователей, входят измерительный участок с нормированными допусками на геометрические размеры, устройства для выравнивания поля скорости, успокоительные колодцы и пр.

Ввиду больших габаритов гидромелиоративных каналов для оросительных насосных станций и сооружений, а также с учетом высокой потребностям в средствах измерений массовое изготовление составных частей расходомеров может быть осуществлено только из дешевых и недефицитных материалов, прежде всего – монолитного бетона и сборного железобетона с незначительной долей проката черных металлов и пластмасс [4].

В течение ближайших 10 лет преобладающую роль будут играть традиционные методы измерений, наиболее полно соответствующие техническому уровню современных гидромелиоративных систем (ГМС), квалификации обслуживающего персонала и в то же время позволяющие обеспечить массовое изготовление расходомеров и внедрение элементов автоматизированного дистанционного контроля, используя средства локальной автоматики без внесения существенных измерений. В отличие от ряда других способов

измерения расходов для расходомеров с сужающим устройством еще требуется обоснование условий применения точности воспроизведения конфигурации косвенных методов градуировки и поверки.

Цель исследований: комплексная оценка состава факторов, влияющих на погрешность расходомеров с сужающими устройствами, а также получение уравнения, связывающего составляющие погрешности измерений с условиями окружающей среды с точностью воспроизведения конфигурации расходомеров и качеством строительства оросительных каналов.

Материалы и методы исследований. Базируясь на фундаментальных постулатах гидромеханики, современные представления о закономерности истечения жидкости через местные гидравлические сопротивления сформировались благодаря многочисленным теоретическим и экспериментальным исследованиям, результаты которых обобщены в научной литературе и в справочных пособиях [5-7, 9].

Если рассматривать сужающие устройства как элементы средств измерений (рис. 1) [8], то всякого рода допущения, принятые для инженерных расчетов, уже не отвечают метрологическим требованиям и нуждаются в дополнительном обосновании. Для решения вопросов гидравлического обоснования погрешности сужающих устройств наиболее приемлемой представляется следующая схема:

- а) анализ структуры градуировочной характеристики сужающих устройств;
- б) оценки влияния:
 - допущений, использованных при выводе градуировочной характеристики;

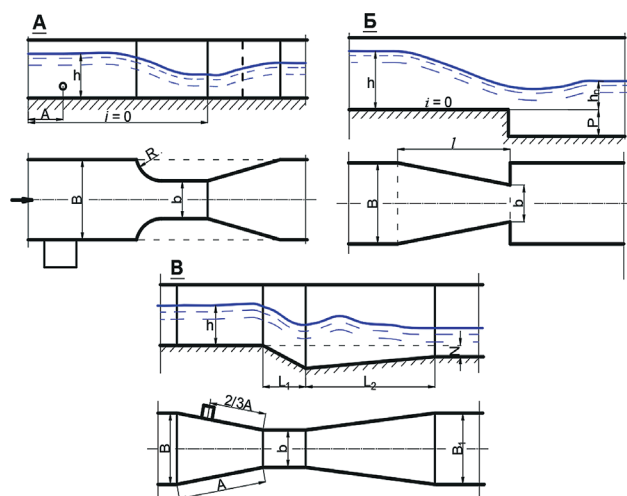


Рис. 1. Схемы расходомерных лотков: А – Вентури; Б – Паршала; В – САНИРИ

Fig. 1. Flowmeters trays diagrams: A-Venturi; B-Parshala; C-SANIRI

- параметров окружающей среды и измеряемой среды на погрешность определения расхода;
- отклонений от заданных геометрических параметров сужающих устройств на погрешность измерений;

– характеристик комплектующих приборов на погрешность измерений;

- в) определение структуры и значений составляющих суммарной погрешности измерений расхода.

Воспользуемся простейшей схемой, изображенной на рисунке 2, и рассмотрим случай плавного изменяющегося движения реальной жидкости на участке открытого русла конечных размеров с горизонтальным дном, где установлено сужающее устройство произвольной формы. Выделим на этом участке два произвольных вертикальных сечения: I-I и II-II, расположенных в верхнем и нижнем бьефах сужающего устройства, и составим для них уравнение Бернулли в общем виде [10]:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \eta_1 \frac{U^2 n_1}{2g} + \theta_1 \frac{U^2 b_1}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \eta_2 \frac{U^2 n_2}{2g} + \theta_2 \frac{U^2 b_2}{2g} + \sum \xi \frac{g^2}{2g}, \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – пьезометрическое давление в обоих сечениях, кг/м²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; g_1 и g_2 – продольные скорости потока, определенные по сечениям I-I и II-II, м/с; α_1 и α_2 – коэффициенты кинетической энергии; U_{n_1} и U_{n_2} – осредненные продольные составляющие пульсационных скоростей потока в обоих сечениях, м/с; η_1 и η_2 – безразмерные коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения продольных пульсационных скоростей в обоих сечениях; θ_1 и θ_2 – безразмерные коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения вертикальных пульсационных скоростей в обоих сечениях; $\sum \xi$ – сумма потерь энергии потока между сечениями I-I и II-II, м.

Обозначим:

$$-\frac{U_n^2}{g^2} = k_U^n; \quad \frac{U_b^2}{g^2} = k_U^b,$$

где k_U^n и k_U^b – соответствующие постоянные Т. Кармака:

$$-\frac{P_1}{\rho g} = H \text{ и } \frac{P_2}{\rho g} = h.$$

Используя уравнение неразрывности как $g_1 \omega_1 = g_2 \omega_2$ (где ω_1 и ω_2 – площади живого сечения в I-I и II-II, м²), решаем уравнение Бернулли относительно скорости потока в сечении II-II:

$$g_2 = \frac{\sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{\alpha_2 + \eta_2 K_{U_2}^n + \theta_2 K_{U_2}^b + \sum \xi - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 (\alpha_1 + \eta_1 K_{U_1}^n + \theta_1 K_{U_1}^b)}}. \quad (2)$$

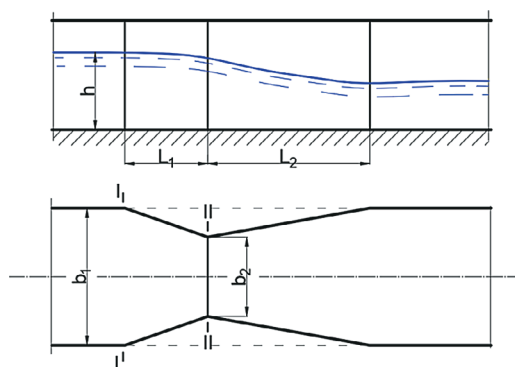


Рис. 2. Схема расходомерного лотка

Fig. 2. Flow meter tray diagram

Рассмотрим вертикальное сечение О-О с гидравлическими параметрами H_0 , g_0 и ω_0 , проходящее через плоскость максимального сжатия потока сужающим устройством.

Обозначим:

$\frac{\omega_0}{\omega_1} = m$ (относительная площадь отверстия

или модуль сжатия), $\frac{\omega_0}{\omega_2} = \varepsilon$ (коэффициент сжатия струи). С учетом этого получим:

$$g_0 \omega_0 = \frac{\varepsilon \omega_2 \sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{\alpha_2 + \eta_2 K_{U_2}^n + \theta_2 K_{U_2}^b + \sum \xi - \varepsilon^2 m^2 (\alpha_1 + \eta_1 K_{U_1}^n + \theta_1 K_{U_1}^b)}}. \quad (3)$$

Обозначим далее:

$$-(\alpha_2 + \eta_2 K_{U_2}^n + \theta_2 K_{U_2}^b) = \tau_2; \quad (4)$$

$$-(\alpha_1 + \eta_1 K_{U_1}^n + \theta_1 K_{U_1}^b) = \tau_1. \quad (5)$$

Тогда

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_2 \sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_2} \varepsilon^2 m^2\right) \tau_2 + \sum \xi}}. \quad (6)$$

Анализ структуры уравнения (6) позволяет сделать следующие выводы.

Для сужающих устройств, работающих в режиме свободного истечения, в том числе водослива с тонкой стенкой, с порогом прямоугольного, треугольного и трапециoidalного профиля, щелевых водосливов, лотков и др., изменение структуры потока в нижнем бьефе не влияет на градуировочную характеристику, то есть $\tau_2 \rightarrow 1$.

Для сужающихся устройств, работающих в режиме затопленного истечения, например, насадков и труб Вентури, градуировочная характеристика зависит от изменения уровней воды в нижнем бьефе, то есть, но поскольку отбор нижнего давления производится непосредственно в сжатом сечении, трансформацию поля скоростей потока от сечения 0-0 до сечения II-II

можно не учитывать. Следовательно, в этом случае можно принять $\tau_2 \rightarrow 1$.

Градуировочная характеристика в аналитической форме может быть представлена следующим образом:

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_0 \sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l_0}{4k_0} + \frac{\chi_n l_n \sqrt{m}}{4k_0} + \xi_{вх} + \xi_{сж} + \xi_{вых} - \tau_1 m^2 \varepsilon^2}}, \quad (7)$$

где λ и χ_n – соответственно коэффициенты гидравлического трения (коэффициенты Дарси) на участке отводящего канала от сечения I-I до 0-0 и в пределах сужающего устройства; l_0 и l_n – соответственно протяженность участка подводящего канала от сечения I-I до 0-0 и протяженность сужающего устройства в продольном направлении, м; k_0 и k_n – соответственно гидравлические радиусы подводящего участка канала и сужающего устройства в сжатом сечении, м; $\xi_{вх}$, $\xi_{сж}$, $\xi_{вых}$ – соответственно коэффициенты потерь энергии потока на вход при истечении через сжатое сечение и при выходе из сужающего устройства.

Из формулы (8) следует, что ввиду косвенного характера определения расхода результирующая погрешность зависит от частных составляющих, связанных с изменением каждого параметра, входящего в уравнение. Поэтому погрешность определения расхода для каждого стандартного сужающего устройства будет зависеть от метрологических характеристик образцовых средств измерений, показателей точности их изготовления и монтажа, а также от степени отклонения условий эксплуатации по сравнению с нормальными условиями первичных испытаний.

Результаты и их обсуждение. Из числа стандартных показателей, характеризующих нормальные условия испытаний, в данном случае важны следующие: атмосферное давление – 101,3 кПа (760 мм рт.ст.); относительная влажность воздуха – 60%; ускорение силы тяжести, соответствующее географической широте 45°32'33" и средней высотной отметке уровня моря 9,80665 м по ГОСТ 4401-81.

Значения исходного коэффициента расхода при испытаниях могут быть определены по формуле:

$$C_0 = \frac{Q_{обр}^n}{\omega_0 \sqrt{2g(H_{обр} - h_{обр})}}, \quad (8)$$

где C_0 – величина исходного коэффициента расхода; $Q_{обр}^n$ – показание образцовой расходомерной установки, м³/с; $H_{обр}$, $h_{обр}$ – показания образцовых уровнемеров, контролируемых соответственно положение уровней жидкости в верхнем и нижнем бьефах сужающего устройства, м.

С учетом этого и предположения того, что ошибки, вызванные определением площади сечения сужающего устройства и ускорения силы тяжести, могут быть приведены к минимуму

ввиду систематического характера, погрешность определения исходного коэффициента расхода будет выражаться функцией:

$$\delta_C^0 = f(\delta_Q^{\text{обр}}; \delta_n^{\text{обр}}; \sigma)\%, \quad (9)$$

где δ_C^0 – погрешность определения исходного коэффициента расхода, %; $\delta_Q^{\text{обр}}$, $\delta_n^{\text{обр}}$ – погрешности образцовых расходомерной установки и уровнемера, %; σ – среднеквадратическое относительное отклонение исходного коэффициента расхода, %.

Допустимая погрешность образцовых расходомерных установок должна находиться в пределах от 0,1 (0,25) до 1,5% (1,0%). Допустимая абсолютная погрешность современных образцовых уровнемерных установок составляет от 0,3 до 1,0 мм.

Влияние величин ускорения силы тяжести, плотности, сил поверхностного натяжения и вязкости жидкости на основную погрешность неоднозначно и не только зависит от изменений условий среды, но и связано с геометрией сужающих устройств.

Для зоны орошаемого земледелия, расположенной на высотных отметках от уровня моря до 1500 м и между географическими широтами от 35 до 50 град., максимальная погрешность в случае пренебрежения величиной, корректирующей влияние ускорения силы тяжести, составляет порядка 0,15%.

При истечении жидкости через сужающее устройство силы поверхностного натяжения оказывают тормозящее воздействие на поток, относительное влияние возрастает с уменьшением габаритов сжатого сечения. Оценку влияния этих сил можно произвести с помощью формулы [6]:

$$H_S = \frac{2\sigma_n}{4R\rho g}, \quad (10)$$

где H_S – дефицит действующего напора вследствие влияния сил поверхностного натяжения жидкости, м; σ_n – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, н/м; R – гидравлический радиус сужающего устройства, м.

С учетом (10) градуировочную характеристику расходомеров с сужающим устройством можно преобразовать в виде:

$$Q = C\omega\sqrt{2g[(H_1 - h_{S_1}) - (H_2 - h_{S_2})]}. \quad (11)$$

После преобразования уравнений (7), (10) и (11) выражение погрешности, обусловленной влиянием сил поверхностного натяжения жидкости, может быть получено в виде:

$$\delta_\sigma = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sigma_n}{2\rho gRH}}\right) 100, \quad (12)$$

где δ_σ – составляющая погрешности, обусловленная воздействием сил поверхностного натяжения, %

Для расходомеров с затопленным истечением вместо H в формуле (12) следует включить перепад уровней $z = (H - h)$. Анализ формулы и анализ предельных величин, например, для треугольного водослива с тонкой стенкой $\delta_\sigma = 0,1\%$, а для лотка Вентури $\delta_\sigma = 0,02\%$, подтверждает, что при увеличении габаритов сужающих устройств и напора величина δ_σ уменьшается и при $R > 0,30$ м, $H > 0,30$ м становится пренебрежимо малой.

Погрешность измерений расхода может зависеть от температуры среды, степени аэрации и концентрации примесей, а также сжимаемости жидкости под воздействием гидростатического давления.

Изменение плотности воды вследствие колебаний ее температуры можно оценить по формуле:

$$\rho_z = \rho_0 [1 - \beta_t(t_0 - t_1)], \quad (13)$$

где ρ_z – плотность воды при произвольной температуре t_1 , кг/м³; ρ_0 – плотность воды при температуре, соответствующей нормальным условиям испытаний, при $t_0 = 293$ К, кг/м³; β_t – коэффициент объемного расширения воды в интервале температур от t_0 до t_1 , град.⁻¹

Влияние этого процесса на погрешность измерений расхода характеризуется отклонением температуры воды в рабочих условиях от нормальной и выражается формулой:

$$\delta_\rho^t = \frac{\rho^t - \rho_0}{\rho_0} 100, \quad (14)$$

где δ_ρ^t – составляющая погрешности измерений вследствие пренебрежения температурным изменением плотности жидкости, %.

Изменение плотности воды при различной концентрации механических примесей может быть учтено по формуле:

$$\rho_{\text{см}} = \rho_0 + S_0(\rho_{\text{ТВ}} - \rho), \quad (15)$$

где $\rho_{\text{см}}$ – суммарная плотность воды с учетом механических примесей, кг/м³; S_0 – относительная концентрация примесей, равная отношению объемов твердых частиц к объему гидросмеси; $\rho_{\text{ТВ}}$ – средняя плотность твердых частиц, кг/м³.

Погрешность измерений вследствие пренебрежения этим фактом может быть рассчитана по формуле:

$$\delta_\rho^{\text{см}} = \frac{\rho_{\text{см}} - \rho_0}{\rho_0} 100, \quad (16)$$

где $\delta_\rho^{\text{см}}$ – составляющая погрешности измерений вследствие пренебрежения наличием в жидкости механических примесей, %.

Аэрация жидкости также изменяет ее физические свойства. Однако допускаемая максимальная скорость потока для сужающих устройств значительно меньше, чем критическая скорость, соответствующая началу аэрации.

Поэтому влиянием аэрации на показания расходомеров с сужающимися устройствами заведомо можно пренебречь.

Изменение объема или массы жидкости может происходить и при воздействии избыточного давления, причем в работе достаточно учитывать только гидравлическое давление, поскольку воздействие изменения атмосферного давления заведомо мало.

Изменение единицы объема воды вследствие гидростатического сжатия можно рассчитать по формуле:

$$W_p = W_0 (1 - \beta_w \Delta P), \quad (17)$$

где W_p , W_0 – объемы воды, соответствующие значениям избыточного давления P_a и P_0 , м³; $\Delta P = P_a - P_0$ – градиент избыточного давления в процессе эксплуатации расходомера, кг/см²; β_w – коэффициент сжимаемости воды, равный $491 \cdot 10^{-7}$ см²/кг при 293K.

Из формулы (17) можно определить, что в диапазоне глубин воды в каналах, соответствующих условиям применения сужающих устройств, влияние сжимаемости воды под воздействием гидростатического давления может вызвать ошибку при измерении расхода, не превышающую 0,02%.

Поскольку в состав расходомеров с сужающимися устройствами входят уровнемеры, то необходимо учитывать и ошибки, возникающие в процессе контроля уровня жидкости. К ним относятся [11, 13]:

- основная погрешность уровнемеров, определенная в нормативных условиях δ_s . Диапазон ее изменения для уровнемеров общепромышленного назначения составляет от 0,4 до 4,5%;

- погрешность привязки шкалы средства измерений к условным отметкам сужающего устройства – δ_Δ . Абсолютная погрешность для нивелиров I и II классов составляет 0,2 мм, для нивелиров III и IV классов – не более 2,0 мм;

- погрешность, вызванная влиянием инерционных параметров (пульсации поверхности жидкости), – δ_H . Погрешность может не учитываться, если $\delta_{H_x} < 0,5\delta_s$. Если же $\delta_{H_x} > 0,5\delta_s$, то следует принимать меры по снижению уровня пульсации в успокоительных устройствах;

- дополнительная погрешность, вызванная смещением условной отметки сужающего устройства $\delta_{\Delta_{cy}}$. Величина должна учитываться только в случае применения сужающих устройств со свободным истечением, имеющих замкнутую прямоугольную, квадратную или трапециевидную форму отверстия, у которых после монтажа

наблюдается отклонение оси симметрии от вертикали на определенный угол θ .

Таким образом, основным резервом повышения точности является применение более совершенных уровнемеров, а также геодезического оборудования для привязки их шкал.

В процессе серийного изготовления отклонения от заданных линейно-угловых размеров носят характер, обусловленный технологией производства. Изменение геометрических размеров сужающих устройств может происходить и в период эксплуатации вследствие деформаций, истирания насосами и др.

Действительное значение площади сечения может быть определено по формуле:

$$\omega_0 = \omega_p (1 \mp \Delta\omega), \quad (18)$$

где ω_0 и ω_p – действующее и расчетное значение площадей сечения сужающих устройств, м²; $\Delta\omega$ – относительное отклонение от расчетной площади сечения (в долях от единицы).

Величина поправки $\Delta\omega$ зависит от формы отверстия сужающего устройства и вида измеряемого параметра. Систематические ошибки при определении площади сечения могут возникать и ввиду наклона оси симметрии или порога при монтаже сужающих устройств.

Выводы

Результаты исследований, изложенные в статье, позволяют констатировать следующее:

1. Метод переменного перепада уровней с сужающими устройствами имеет преимущества по сравнению с другими. Главными из них являются простота изготовления и монтажа составных частей и возможность использования косвенных методов градуировки, значительно облегчающих метрологическое обслуживание.

2. Теоретическими исследованиями и данными натуральных наблюдений ряда ученых установлено, что точность измерений расхода с помощью сужающих устройств зависит от изменения условий окружающей среды и жидкости, точности воспроизведения проектных размеров при изготовлении, монтаже, эксплуатации, точности определения исходных градуировочных характеристик, от метрологических показателей комплектующих приборов, а также от качества строительства прилегающих к расходомерам участков каналов.

3. Основная погрешность расходомеров зависит и от метрологических характеристик образцовых средств измерений, предназначенных для определения исходных коэффициентов расхода и поверки уровнемеров.

Список использованных источников

1. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России: монография / под науч. ред. Л.В. Кирейчевой. М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2017. С. 296.
2. Пахомов А.А. Устройство для измерения расходов воды в открытых каналах / А.А. Пахомов, СВ. Тронева К.М. Мелихов, Н.А. Колобанова // Мелиорация и водное хозяйство. 2009, № 4. С. 29-33.
3. Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции: учебник. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. С. 330.
4. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель: 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1975. С. 371.
5. Бегляров Д.С., Агарков И.П., Рыбкин В.Н. Средства измерения расхода и давления на оросительных сетях мелиоративных систем: учебное пособие. М.: МГМИ, 1995. С. 79.
6. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления трубопроводов: 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1982. С. 224.
7. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1983. С. 543.
8. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. В 2 кн. 5-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2002.
9. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1987. С. 440.
10. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2004. С. 656.
11. Валентини К.А., Лобачев П.В. Оценка погрешности коэффициента расхода некоторых сужающих устройств в следствие отклонения их от стандартной формы // Измерительная техника систем водного хозяйства: Труды ВНИИ ВОДГЕО. М., 1983.
12. ОСТ-33-27-80. Расходомеры для гидромелиоративных систем. Общие технические условия. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
13. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Использование значений точности на практике. Введ. 2002-04-23. М.: Изд-во стандартов, 2002. С. 43.

Критерии авторства

Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Одобрена после рецензирования 03.02.2023

Принята к публикации 08.02.2023

References

1. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M. Scientific foundations for the creation and management of reclamation systems in Russia: monograph / Under the scientific editorship of Kireycheva L.V. M.: FSBNU «VNI agrochemistry», 2017. S. 296.
2. Pakhomov A.A. Device for measuring water flow in open channels / A.A. Pakhomov, SV. Tronev K.M. Melikhov, N.A. Kolobanova // Melioration and water management, M., 2009, No. 4 P. 29-33.
3. Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevsky V.F. Pumps and pumping stations: a textbook. M.: Publishing House of RGAU-MSHA, 2015. S. 330.
4. Kharchenko S.I. Hydrology of irrigated lands. 2nd ed., reprint. and add. L.: Hydrometeoizdat, 1975. S. 371.
5. Beglyarov D.S., Agarkov I.P., Rybkin V.N. Means of measuring flow and pressure on irrigation networks of reclamation systems: Textbook: Moscow Hydromelioration Institute. M.: MGMI, 1995. S. 79.
6. Altschul A.D. Hydraulic resistances of pipelines. 2nd ed., reprint. and add. M. Nedra, 1982. – S. 224.
7. Hydraulic structures. Designer's Handbook. – M.: Stroyizdat, 1983. S. 543.
8. Kremlevsky P.P. Flowmeters and counters of the amount of substances: a reference book. In 2 books. 5th ed., revised. and additional. St. Petersburg: Polytechnic, 2002.
9. Yemtsev B.T. Technical hydromechanics: textbook. textbook for universities. M.: Mechanical Engineering, 1987. S. 440.
10. Sterenlicht D.V. Hydraulics: a textbook for universities. – 3rd ed., Rev. And additional. M.: Kolos, 2004. S. 656.
11. Valentini K.A., Lobachev P.V. Estimation of the error of the flow coefficient of some narrowing devices as a result of their deviation from the standard form. / Digest: Measuring equipment of water management systems. Proceedings of VNI VODGEO. M.: 1983
12. OST-33-27-80. Flow meters for water reclamation systems. General specifications. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
13. GOST R ISO 5725-6-2002. Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Using precision values in practice. Introduced 2002-04-23. M.: Publishing house of Standards, 2002. S. 43.

Criteria of authorship:

Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. conducted practical and theoretical research, based on which they summarized the results. Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. have the copyright for the article and are responsible for the plagiarism.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial board 25.01.2023

Approved after peer review 03.02.2023

Accepted for publication 08.02.2023

Оригинальная статья

УДК 627.51:528.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-106-112



КАРТИРОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ВНЕЗАПНЫХ НАВОДНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО РАНЖИРОВАНИЯ

Мостафа Еззелдин^{1,2✉}, аспирант, ассистент преподавателя

ORCID: 0000-0003-0332-0424, Scopus: 57202866983; 1042195003@pfur.ru

Синиченко Евгений Константинович², доцент, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-9159-1218, Scopus: 6506801225; sinichenko-ek@rudn.ru

Грицук Илья Игоревич^{1,3,4}, доцент, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-5671-7620, Scopus: 17343469800; gritsuk-ii@rudn.ru

¹ Департамент строительства, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов (РУДН); 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, 3, Россия

² Департамент гражданского строительства, инженерный факультет, Университет Менуфия, Шибин-эль-Ком, Египет; 32511, Египет

³ Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва, Россия

⁴ Автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Россия

Аннотация. Исследована и изучена степень опасности внезапных наводнений в Вади-Ватир с использованием технологий дистанционного зондирования и ГИС, с применением метода морфометрического ранжирования (МР). Внезапные паводки – это опасные природные явления, которые сложно предсказать. Прогнозирование районов, подверженных внезапным наводнениям, может спасти жизнь и имущество людей. Программное обеспечение географических информационных систем и дистанционное зондирование стали основными инструментами для оценки риска. Египет часто испытывает внезапные наводнения в разных областях – таких, как засушливые регионы. Вади-Ватир является одним из важных водоразделов, подверженных внезапным наводнениям. Затопление этого района подвергает опасности город Нувейба и главные транспортные магистрали. В исследованиях используется подход морфометрического ранжирования для оценки риска внезапных наводнений в Вади-Ватир с помощью дистанционного зондирования и географических информационных систем. Размер бассейна, форма, поверхность и дренажная сеть были среди 17 факторов, включенных в подход морфометрического ранжирования. Результаты показали, что 19 и 44,2% площади водосбора имеют низкую и среднюю степень опасности соответственно. Кроме того, 36,8% от общей площади водосбора имеют высокую степень опасности, поэтому территория должна быть хорошо защищена от внезапных паводков.

Ключевые слова: паводки, ГИС, метод морфометрического ранжирования, дистанционное зондирование, Вади-Ватир

Формат цитирования: Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И. Картирование опасности внезапных наводнений с использованием метода морфометрического ранжирования // Природообустройство. 2023. № 2. С. 106-112. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.

© Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И., 2023

Original article

FLASH FLOOD HAZARD MAPPING USING MORPHOMETRIC RANKING METHOD

Mostafa Ezzeldin^{1,2✉}, post graduate student, assistant of the lecturer

ORCID: 0000-0003-0332-0424, Scopus: 57202866983; 1042195003@pfur.ru

Sinichenko Evgeny Konstantinovich², associate professor, candidate of technical sciences

ORCID: 0000-0002-9159-1218, Scopus: 6506801225; sinichenko-ek@rudn.ru

Gritsuk Ilya Igorevich^{1,3,4}, associate professor, candidate of technical sciences

ORCID: 0000-0002-5671-7620; Scopus: 17343469800; gritsuk-ii@rudn.ru

¹ Department of Construction Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), 115419, Moscow, Ordzhonikidze Str., 3, Russia

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Menoufia University, Shibin el-Com, Egypt; 32511, Egypt.

³ Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia

Annotation. This work is aimed at researching and studying the severity of flash floods in Wadi Watir using remote sensing and GIS technologies using the morphometric ranking (MR) method. Flash floods

are natural hazards that are difficult to predict. Predicting flash floods in flood-prone areas can save lives and property. Geographic information systems software and remote sensing have recently become major sources of knowledge for risk assessment. Egypt often experiences flash floods in different areas, such as arid regions. Wadi Watir is one of the important watersheds prone to flash flooding. Flooding of the area endangers the town of Nuweiba and major traffic arteries. This study uses the morphometric ranking method to assess flash flood risk in Wadi Watir using remote sensing and geographic information systems. Seventeen parameters were used for the morphometric ranking approach. The parameters varied between basin size, shape, surface, and drainage network. The results showed that 19% and 44.2% of the watershed have low and moderate hazard degrees for flash floods, respectively. In addition, 36.8% of the total area of the watershed has the highest degree of danger, so this area must be well protected from the danger of flash floods.

Keywords: Flash floods, GIS, morphometric ranking method, remote sensing, Wadi Watir

Format of citation: Mostafa Ezzeldin, Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Flash flood hazard mapping using morphometric ranking method // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 2. S. 106-112. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.

Введение. Внезапное наводнение – это наводнение, которое происходит быстро, обычно менее чем за 6 ч, в результате интенсивных или частых осадков. Данное явление определяется сильными ливнями, протекающими по руслам рек, улицам города, каналам или горным долинам. Через несколько минут или часов может начаться сильный дождь. Внезапные паводки также могут происходить даже в отсутствие дождя: например, при прорыве дамбы, плотины, при неожиданном сбросе воды, по причине затора льда или сточных вод. Тяжесть и частота природных катастроф значительно повысились в последние десятилетия в результате ухудшения состояния окружающей среды [1].

На интенсивность наводнений влияют многочисленные факторы, в том числе топография, география, инфраструктура, геоморфология, сток и изменение климата. Многие элементы, в том числе антропогенные и экологические процессы, характеристика и интенсивность стока, потери воды (инфильтрация и испарение) и осадки, приводят к внезапным наводнениям в пустынных районах [2].

Многочисленные геоморфологические исследования, проведенные в засушливых регионах по всему миру за последние несколько десятилетий, позволили улучшить геоморфологические методы предотвращения катастрофических опасностей и повысить осведомленность о геоморфологии наводнений, а также о полезности геоморфологических исследований и знаний, используемых при планировании [3]. Ущерб объектам инфраструктуры может быть уменьшен за счет выявления и прогнозирования мест, подверженных наводнениям. Эти действия также могут помочь в планировании будущих городов для минимизации этих рисков [4].

Дистанционное зондирование и географические информационные системы (ГИС)

являются отличными инструментами для быстрого исследования больших территорий. География поверхности, почвы, растения, землепользование, ландшафт, сооружения и инфраструктура, невидимые с земли, можно наблюдать в мельчайших деталях на спутниковых фотографиях. Данные факторы позволяют получить информацию, которая может помочь в поиске новых инструментов и более глубоком понимании доступных инструментов и альтернатив развития [5]. В последнее время эти технологии приобрели еще большее значение в качестве как методов оценки геоэкологических рисков, так и основного источника данных для оценки опасностей и стихийных бедствий. Во всем мире данные радиолокационного дистанционного зондирования часто используются для наблюдения за наводнениями. Наряду с этим в других исследованиях наносилось на карты воздействие наводнений с использованием ГИС и нейронных сетей [1, 6].

В различных районах Египта, особенно в Верхнем Египте, Восточной пустыне, прибрежных районах и сухих водоразделах на реке Нил, внезапные наводнения являются частыми [6, 7]. Одним из самых важных водоразделов Египта является Вади-Ватир, который уязвим для внезапных наводнений ввиду его каменистой местности, большой высоты и обильных зимних осадков. Во время паводков каньон водораздела расположен по пути быстро движущегося паводкового потока со значительными наносами. Международная автомагистраль также получает катастрофические повреждения и в нескольких местах полностью разрушена паводковой волной высотой от 1 до 2 м (рис. 1). Кроме того, паводки представляют опасность для города Нувейба, расположенного в устье каньона (рис. 2 б) [8].

Многочисленные исследования были сосредоточены на регионе Вади-Ватир. В качестве



Рис. 1. Международная автомагистраль, проходящая через выезд из Вади-Ватир, в нормальном состоянии и после наводнения в октябре 2008 г. [8]

Fig. 1. The international highway passing through the exit from Wadi Watir, in normal condition and after the flood in October 2008 [8]

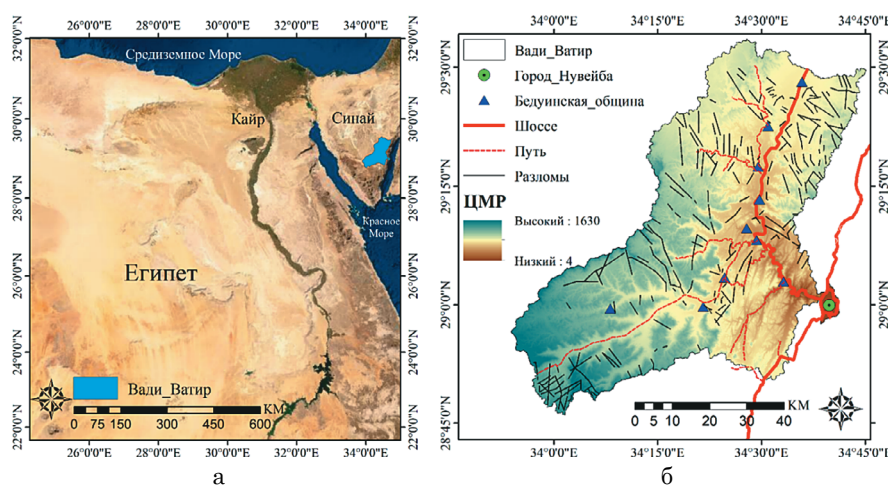


Рис. 2. Водораздел Вади-Ватир:

а – общая ориентация; б – основные характеристики

Fig. 2. Wadi-Watir watershed:

а – General orientation; б – Main characteristics

иллюстрации Мохамед и Фатахалла [9] использовали дистанционное зондирование и технологию ГИС как основу для геоморфологии, классификации и оценки почв Вади-Ватир. Авторы Кулс и др. [8] создали систему раннего предупреждения о внезапных наводнениях. В своей работе Мустафа и др. [10] оценили засоление и пополнение подземных вод на сухой прибрежной равнине водоносного горизонта дельты Вади-Ватир. Кроме того, Сара и др. [11] произвели геопрограммную оценку риска внезапных наводнений в районе Нувейбы. Сара [12] оценила потенциальную зону подземных вод в исследуемом районе с помощью дистанционного зондирования и ГИС. Усама [13] использовал численные модели подземных вод для оценки возможности хранения и восстановления водоносного горизонта (ASR) в дельте Вади-Ватир. Мостафа и др. [14] определили пригодность сбора дождевой воды для достижения целей устойчивого развития с использованием ГИС.

Наша работа направлена на исследование и изучение степени опасности внезапных наводнений в Вади-Ватир с использованием технологий дистанционного зондирования и ГИС, с применением метода морфометрического ранжирования (МР).

Материалы и методы исследований. Область исследований. Одним из наиболее уязвимых по отношению к наводнениям водосборных бассейнов Синайского полуострова является Вади-Ватир, который находится в городе Мухафаза в Южном Сине Египта. Данный регион является гипераридным водоразделом и имеет площадь около 3580 км² [8]. Он расположен между 28°46' и 29°33' северной широты и 33°53' и 34°44' восточной долготы соответственно (рис. 2). Район исследований граничит с обеих сторон с пересеченной гористой местностью и возвышенностями, которые варьируются от пологих равнин до скалистых крутых гор высотой от 8 до 1631 м над уровнем моря.

С учетом того, что и город Нувейба, и его порт расположены на берегах этой дельты, водораздел считается самым важным в регионе. Через порт Нувейба суда соединяют Иорданию, Саудовскую Аравию с Египетом [10]. Ежегодно в регионе выпадает около 200 млн м³ осадков. По причине крутого рельефа и большого количества твердых пород залив Акаба теряет большую часть осадков в виде стока поверхностных вод [13].

Методология исследований. При использовании данных Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) топография была изучена с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР) с разрешением 30 м. Морфометрические параметры, включая площадь (А), длину бассейна (L_б), коэффициент рельефа (R_р), длину потока (L_п), номер потока (N_п) и др., были затем рассчитаны с использованием ЦМР после ее обработки в среде ГИС (табл.). Бассейн был разделен

Таблица 1. Морфометрические параметры и их формулы

Table 1. Morphometric parameters and their formulas

Параметр <i>Parameter</i>	Символ/формула <i>Symbol / formula</i>	Метод расчета <i>Method of calculation</i>	Использованная литература <i>References</i>
Площадь (км) / <i>Square (km)</i>	A	ArcGis	[16]
Периметр (км) / <i>Perimeter (km)</i>	P	ArcGis	[16]
Длина бассейна (км) <i>Length of the basin (km)</i>	L_b	ArcGis	[16]
Коэффициент формы <i>Form factor</i>	$R_f = A / (L_b)^2$		[11]
Коэффициент округлости <i>Roundness factor</i>	$R_y = 4\pi A / P^2$		[3]
Коэффициент удлинения <i>Coefficient of elongation</i>	$R_e = 2 (A/\pi)^{0.5} / L_b$		[16]
Шейп-фактор / <i>Shape factor</i>	$F_s = L_b^2 / A$		[11]
Коэффициент компактности <i>Compactness factor</i>	$R_c = P / 2(\pi A)^{0.5}$		[3]
Порядок потоков <i>Currents order</i>	u	Иерархический ранг <i>Hierarchical rank</i>	[15]
Длина потока (км) <i>Current length (km)</i>	L_u	ArcGis	[3]
Номер потока / <i>Current number</i>	N_u	ArcGis	[3]
Плотность дренажа (км ⁻¹) <i>Drainage density (km⁻¹)</i>	$D_d = \Sigma L_u / A$		[3]
Частота потоков <i>Currents frequency</i>	$F_q = \Sigma N_u / A$		[3]
Коэффициент бифуркации <i>Bifurcation coefficient</i>	$B_r = N_u / N_{u+1}$	(N_u) количество потоков указанного порядка и (N_{u+1}) количество потоков следующего порядка (N_u) quantity of currents of the specified order and (N_{u+1}) quantity of currents of the next order	[16]
Коэффициент текстуры <i>Texture factor</i>	$R_t = \Sigma N_u / P$		[3]
Коэффициент рельефа <i>Relief factor</i>	$R_h = R / L_b$	(R) Рельеф в км (R) Relief in km	[16]
Относительный коэффициент рельефа <i>Relative relief factor</i>	$R_v = R / P$		[11]
Индекс прочности <i>Strength index</i>	$R_l = R \cdot D_d$		[16]
Гипсометрический индекс <i>Hypsometric index</i>	$H_l = (E_{\text{mean}} - E_{\text{min}}) / (E_{\text{max}} - E_{\text{min}})$	(E) Высота в км (E) Height in km	[11]
Уклон бассейна (градусы) <i>Basin slope (degrees)</i>	$S_B = (R / L_b) \cdot 60$		

на 37 подбассейнов для изучения потенциальных угроз паводков на основе статистики их морфометрических и геоморфологических параметров, в соответствии с распределением порядков потоков. Метод Стралера использовался

для установления порядка течения суббассейнов [15]. Потоки были разделены на 7 порядков (рис. 3).

Метод Элшейми, Индекс потенциала быстроразвивающихся паводков и МР – это

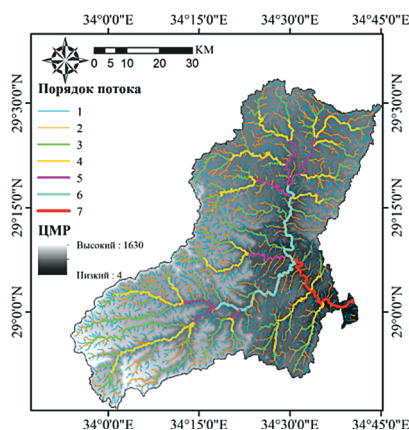


Рис. 3. Порядок потоков с фоном ЦМР

Fig. 3. The order of streams with the background of the DEM

несколько альтернатив, которые можно использовать для изучения восприимчивости суббассейнов к быстроразвивающимся паводкам [6]. Уровень опасности внезапных наводнений в Вади-Ватир был исследован авторами с использованием подхода МР.

Метод морфометрического ранжирования. Морфологические параметры являются основным направлением морфометрической интерпретации изучаемой территории. В морфометрическом анализе использовалось 17 параметров, которые были рассчитаны, как показано в таблице 1. Среди переменных были размеры, форма и поверхность дренажной сети, например: площадь [A], периметр [P], длина бассейна [L_b], коэффициент удлинения [R_e], коэффициент округлости [R_v], коэффициент формы [R_f], частота потока [F_d], коэффициент компактности [R_c], плотность дренажа [D_d], коэффициент текстуры [R_t], коэффициент относительного рельефа [R_v], индекс прочности [R_p], коэффициент рельефа [R_b], гипсометрический индекс [H_i] и уклон бассейна [S_B]). На рисунке 4 представлен образец рассчитанных параметров для каждого суббассейна.

Авторы Баджабаа и др. [17] разработали концепцию определения уровня опасности для каждого суббассейна. Шкала опасности для каждого параметра находится в диапазоне от 1 (самый низкий) до 5 (самый высокий). Для каждого суббассейна в районе исследований были определены самые низкие и самые высокие значения

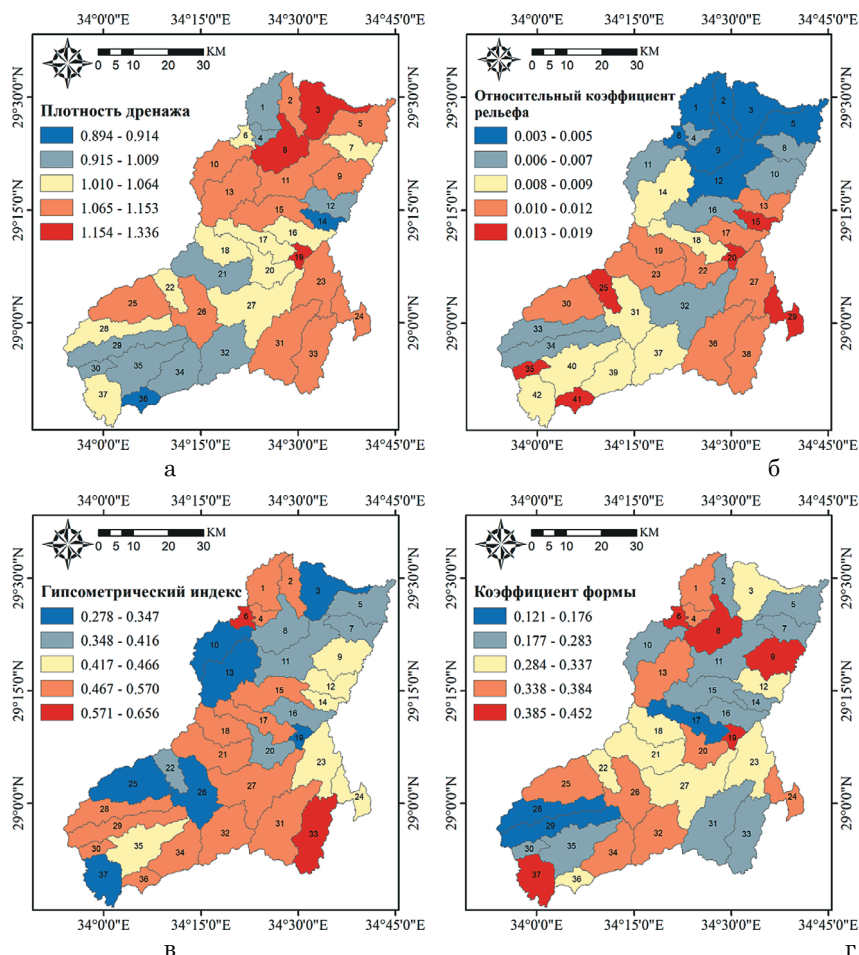


Рис. 4. Образцы карт рассчитанных морфометрических параметров:

а – плотность дренажа; б – относительный коэффициент рельефа; в – гипсометрический индекс; г – коэффициент формы

Fig. 4. Samples of maps of calculated morphometric parameters:

a – drainage density; б – the relative relief coefficient; c – hypsometric index; d – coefficient form

каждого параметра. Реальный уровень риска может быть определен с использованием соотношений, представленных ниже:

для прямо пропорциональных параметров

$$\text{степень опасности} = \frac{4(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} + 1; \quad (1)$$

для обратно пропорциональных параметров

$$\text{степень опасности} = \frac{4(X - X_{\max})}{(X_{\min} - X_{\max})} + 1, \quad (2)$$

где X – значение морфометрического параметра; X_{max} – максимальное значение; X_{min} – минимальное значение.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что 9 суббассейнов (19% площади исследований) относятся к низкой степени опасности паводков: один – посередине региона; 6 – на севере; 2 – на юго-востоке. Кроме того, 17 суббассейнов, занимающих 44,2% общей площади, отнесены к средней степени опасности: 7 – на юге;

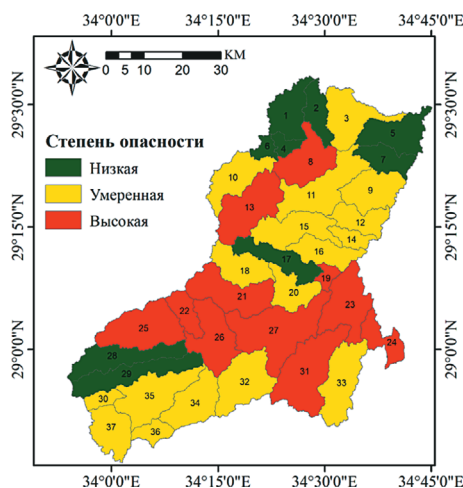


Рис. 5. Карта опасности внезапных наводнений

Fig. 5. Map of the danger of flash floods

остальные распределены в середине и на севере. Наконец, 36,8% площади бассейна (11 суббассейнов) очень уязвимы для быстро развивающихся паводков, сосредоточены в северной части южной половины и в районе выхода из водораздела. Данные суббассейны должны быть защищены от опасности внезапных паводков. Это может быть достигнуто за счет строительства защитных сооружений – таких, как запорные дамбы

и перколяционные резервуары. Кроме того, реализация таких проектов поможет в развитии Вади-Ватир, поскольку вода, собираемая из этих сооружений, может использоваться в сельском хозяйстве, промышленности и, в бытовых целях, что повысит уровень жизни местных жителей.

Выводы

В работе метод МР был использован для исследований степени опасности внезапных наводнений водораздела Вади-Ватир (Синай, Египет). Для текущего исследования были оценены и проанализированы 17 параметров, которые варьируются в зависимости от формы бассейна, поверхности и размеров, а также дренажной сети. Все параметры были сгенерированы в среде ГИС. Карта опасности внезапных наводнений была разработана и подразделена на 3 класса.

Результаты исследований показали, что степень опасности для 19%, 44,2% и 36,8% всей площади обводненного бассейна относится к низкой, средней и высокой степени соответственно. Зона повышенной опасности для ливневых паводков должна быть хорошо защищена путем строительства защитных сооружений, а аккумулярованная вода – использоваться в целях развития региона.

Информация о финансировании

Автор-корреспондент финансируется за счет стипендии по совместной программе между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

Funding Information

The author – correspondent is funded by a fellowship under a joint program between the Arab Republic of Egypt and the Russian Federation

Список использованных источников / References

1. Wael M.E., Mona G.I., Wael E.M. Flash flood risk estimation of WadiQena Watershed, Egypt Using GIS Based Morphometric Analysis // Journal of Applied Environmental Research. 2018. Vol. 40, № 1. Pp. 36-45. DOI: 10.35762/AER.2018.40.1.4.
2. Saleh A.S. Flash floods in deserts // A geomorphic study of desert Wadis Institute of Arab Research, Special Studies Series. 1989. Vol. 51. Pp. 1-93.
3. Yahya F., Omar A. Flash Flood Risk Estimation of WadiYutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS Based Morphometric Analysis and Remote Sensing Techniques // Open Journal of Modern Hydrology. 2016. Vol. 6. Pp. 79-100.
4. Sabri H., Mohamed A., Raafat H., Mohamed A. Using remote sensing data for predicting potential areas to flash flood hazards and water resources Remote Sensing Applications // Society and Environment. 2019. Vol. 16.100254.
5. Elbehiry M.G., Sheded A., Abukhadra A., Elhuseiny M. Integrated GIS and Remote Sensing for Runoff Hazard Analysis in Ain Sukhna Industrial Area, Egypt // Earth Sciences. 2006. Vol. 17. Pp. 19-42.
6. Wael M.E., Mona G.I., Wael E.M., Shinjiro K. Developing an overall assessment map for flood hazard on large area watershed using multi-method approach: case study of WadiQena watershed, Egypt // Natural Hazards. 2019. Vol. 95. Pp. 739-767.
7. Mostafa E. Challenges of water resources management in Egypt and solution opportunities // Construction: Science and Education. 2020. Vol. 11, № 1. Pp. 1-14. <http://dx.doi.org/10.22227/2305-5502.2021.1.1>.
8. Cools J., Vanderkimpfen P., Elafandi G. et al. An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2012. Vol. 12. Pp. 443-457.
9. Mohamed A.A., Fatahallah M.F. Geomorphology, Classification and Evaluation of WadiWatr Soils in Southeastern Sinai Using Combined Remote Sensing and GIS techniques // Oecologiaegyptiaca. 2008. Vol. 1. Pp. 30-46.
10. Mustafa A.E., James M.T., Greg P. et al. Groundwater recharge and salinization in the arid coastal plain aquifer of the WadiWatr delta, Sinai, Egypt // Applied Geochemistry. 2016. Vol. 71.48e62.

11. **Sara A., May Y., Samia I. et al.** Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt // *Journal of Arid Environments*. 2016. Vol. 133. 54e72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>.

12. **Sara M.A.** Groundwater potential zone assessment in WadiWatir area, Egypt using radar data and GIS // *Arabian Journal of Geosciences*. 2016. Vol. 9. P. 501.

13. **Osama M.S.** Use of Numerical Groundwater Modeling to Assess the Feasibility of Aquifer Storage and Recovery (ASR) in the WadiWatir Delta, Sinai, Egypt // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. Vol. 11. Pp. 1462-1480. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1112085>.

14. **Mostafa E., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I.** Determining the suitability of rainwater harvesting for the achievement of sustainable development goals in WadiWatir,

Egypt using GIS techniques // *Journal of Environmental Environment*. 2022. Vol. 313. 114990. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114990>.

15. **Strahler A.** Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks // *Geological Society of America Bulletin*. 1964. Vol. 63. 1117e1142.

16. **Schumm S.** Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy New Jersey // *Geological Society of America Bulletin*. 1956. Vol. 67, № 5. 597-646.

17. **Bajabaa S., Masoud M., Alamri N.** Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia) // *Arabian Journal of Geosciences*. 2014. Vol. 7, № 6. Pp. 2469-2481.

Критерии авторства

Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023

Одобрена после рецензирования 01.02.2023

Принята к публикации 01.02.2023

Criteria of authorship

Mostafa Ezzeldin, Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 13.01.2023

Approved after reviewing 01.02.2023

Accepted for publication 01.02.2023

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

Оригинальная статья

УДК 630*57

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-113-119



ОЦЕНКА ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Голубев Дмитрий Андреевич^{1,2✉}, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, доцент
ORCID: 0000-0001-9416-2913; Scopus AuthorID56039568200; РИНЦ AuthorID792537; SPIN-код 1928-8070; poet.golubev@mail.ru

Гула Константин Евгеньевич¹, канд. хим. наук, старший научный сотрудник
Scopus AuthorID56491172400; РИНЦ AuthorID617075; SPIN-код 5496-1228; konstantin2489@mail.ru

Лашина Елена Викторовна¹, старший научный сотрудник
РИНЦ AuthorID970758; SPIN-код 1777-5274; lena_blednyh@mail.ru

Колобанов Константин Александрович¹, научный сотрудник
ORCID: 0000-0001-7286-2644; Scopus AuthorID57211208606; РИНЦ AuthorID934295; SPIN-код 1160-3545; kolobanov.92@mail.ru

Иванова Анастасия Александровна^{1,2}, магистрант, техник
tima48053155@mail.ru

¹ Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства; 680020, г. Хабаровск, ул. Волочаевская, 71, Россия
Far East Forestry Research Institute, Russia, 680020, Khabarovsk, 71 Volochevskaya St.

² Тихоокеанский государственный университет; 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценка эффективности создания лесных культур на территории Сахалинской области. В процессе выполнения работ проведен анализ состояния лесных культур, созданных на территории Сахалинской области. Изучены основные показатели роста культур (высота, диаметр, запас). Опыт искусственного восстановления в исследуемом регионе насчитывает почти 100 лет, а начиная с 60-х гг. прошлого века лесовосстановительные работы на острове были полностью механизированы. По состоянию на 2023 г. лесные культуры Сахалинской области расположены на площади 194,8 тыс. га и составляют 3,5% от занятых основными лесообразующими породами земель. Основными породами, используемыми для лесовосстановления, являются лиственница курильская, ель аянская и сосна обыкновенная. В результате оценки эффективности создания лесных культур отмечается, что наиболее целесообразно для искусственного восстановления лесов на территории Сахалинской области использовать лиственницу курильскую, так как она более эффективна в данных климатических условиях.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесные культуры, ель аянская, сосна обыкновенная, лиственница курильская

Формат цитирования: Голубев Д.А., Гула К.Е., Лашина Е.В., Колобанов К.А., Иванова А.А. Оценка лесовосстановления на территории Сахалинской области // Природообустройство. 2023. № 2. С. 113-119. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-113-119.

© Голубев Д.А., Гула К.Е., Лашина Е.В., Колобанов К.А., Иванова А.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF REFORESTATION IN THE SAKHALIN REGION

Golubev Dmitry Andreevich^{1,2✉}, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Associate Professor
ORCID: 0000-0001-9416-2913; Scopus AuthorID56039568200; RSCI AuthorID792537; SPIN code 1928-8070; poet.golubev@mail.ru

Gula Konstantin Evgenjevich¹, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
Scopus AuthorID56491172400; RSCI AuthorID617075; SPIN code 5496-1228; konstantin2489@mail.ru

Lashina Elena Viktorovna¹, Senior Researcher

RSCI AuthorID970758; SPIN code 1777-5274; lena_blednyh@mail.ru; 8924-219-67-99 Konstantin A. Kolobanov, 1 researcher;
ORCID: 0000-0001-7286-2644; Scopus AuthorID57211208606; RSCI AuthorID934295; SPIN code 1160-3545; kolobanov.92@mail.ru

Kolobanov Konstantin Alexandrovich¹, researcher

ORCID: 0000-0001-7286-2644; Scopus AuthorID57211208606; RSCI AuthorID934295; SPIN code 1160-3545; kolobanov.92@mail.ru

Ivanova Anastasia Alexandrovna^{1,2}, master's student, technician

tima48053155@mail.ru

¹ Far Eastern Forestry Research Institute; 680020, Khabarovsk, Volochayevskaya, 71, Russia. Far East Forestry Research Institute, Russia, 680020, Khabarovsk, 71 Volochaevskaya St. Russia

² Pacific State University; 680035, Khabarovsk, 136, Tikhookeanskaya Str., Russia

Annotation. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of creating forest plantations in the Sakhalin Region. In the process of performing the work, the authors analyzed the state of forest plantations created on the territory of the Sakhalin Region. In the process of performing the work, the authors analyzed the state of forest plantations created on the territory of the Sakhalin Region. The high growth rates of crops (height, diameter, stock) were studied. The experience of artificial restoration in the study region has almost 100 years, and since the 60s of the last century, reforestation work on the island has been completely mechanized. To date, the forest plantations of the Sakhalin region are located on an area of 194.8 thousand hectares, and occupy 3.5% of the lands occupied by the main forest-forming species. The main species used for reforestation are larch Kuril (*Larix kurilensis*), Ayan spruce (*Picea jezoensis*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris*). Currently, there is a shortage of available forestry fund in the region. As a result of evaluating the effectiveness of creating forest plantations, it is noted that it is most expedient to use Kuril larch for artificial reforestation in the Sakhalin Region, since it is more effective for these climatic conditions.

Keywords: reforestation, forest crops, Ayan spruce (*Picea jezoensis*), Scotch pine (*Pinus sylvestris*), Larch Kuril (*Larix kurilensis*)

Format of citation: Golubev D.A., Gula K.E., Lashina E V., Kolobanov K.A., Ivanova A.A. Assessment of reforestation in the Sakhalin region // *Prirodobustroystvo*. 2023. No. 2. S. 113-119. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-113-119.

Введение. Остров Сахалин расположен у восточного побережья азиатской территории Российской Федерации. С севера и востока омывается водами холодного Охотского моря, с юго-запада – теплым Японским морем. Для острова характерен муссонный климат. Между севером и югом острова, западным и восточным побережьем и даже между внутренними частями наблюдаются существенные климатические различия [1].

Регион относится к Дальневосточному таежному лесному району.

В лесном фонде Сахалина преобладают хвойные породы. Большая часть хвойных пород Сахалина произрастает вдоль рек, на склонах сопкок крутизной более 30° и образует почвозащитные и водоохранные фитоценозы [2, 3].

До 1920 г. лесокультурные работы проводились только японцами и только на ограниченной территории. Вблизи г. Долинска было засеяно 5 га земли местными породами: ель аянская (*Picea jezoensis*), береза белая (*Betula alba*) и каменная (*Betula ermanii*), а также экзоты: лиственницы японская (*Larix kaempferi*) и ольгинская (корейская) (*Larix olgensis*), ель

обыкновенная (*Picea abies*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), сосна корейская (*Pinus koraiensis*), лиственница обыкновенная (*Larix decidua*) и некоторые другие древесные породы [4].

На советском Сахалине культуры производили главным образом путем посева, но довольно скоро выяснилось, что ввиду выжимания всходов, ожога корневой шейки и пересыхания в отдельные периоды верхнего горизонта почвы и в силу других причин метод посева не может дать положительных результатов. Особенно неблагоприятно этот метод сказывался на породах ели. Поэтому в 1934-1935 гг. было посеяно всего 200 га, а с 1936 г. посева леса на Сахалине вообще не было, и все работы по лесовосстановлению проводили только путем посадок [5, 6]. За это время лесные культуры были заложены на площади около 160 тыс. га, но к настоящему времени сохранилась лишь небольшая часть, так как к 1945 г. значительная доля их была уничтожена пожарами. В тот период создавали главным образом чистые культуры с густотой посадки около 3 тыс. мест на 1 га; значительно меньшие площади занимали посадки смешанные: из ели аянской и берез, лиственницы даурской и ели

аянской и др. Производилась посадка, как правило, крупномерным материалом: в возрасте 5-7 лет для ели, 2-4 года – для лиственницы и березы. Однако позднее стали высаживать и сеянцы темновойных пород [7].

В 1947 г. были приняты меры по усилению лесокультурных мероприятий. В этот период высаживали как лиственные, так и хвойные породы. Создавались преимущественно только чистые культуры, за исключением лиственницы, так как семена лиственницы японской и ольгинской (корейской) часто смешивали при заготовках [5, 6].

В это же время выяснилось, что хорошие результаты могут быть получены при осенних посадках хвойных пород. В ряде типов лесорастительных условий хорошо удавались посадки без предварительной обработки почвы или с обработкой почвы, но без последующих уходов, что позволяет упростить и удешевить работы по лесовосстановлению.

Начиная с 1960-х гг. механизированная подготовка почвы составляла уже 42-45% от общего объема работ. В 1965 г. успешно внедрялась лесопосадочная машина ЛМД-1 [6]. Однако наличие в лесокультурном фонде большого количества участков с крутыми склонами, в том числе в зеленых зонах городов, вызывало необходимость работы вручную.

На Сахалине на ровных площадях и склонах до 6° при подготовке почвы под лесные культуры обычно использовались плуги ПЛШ-1,2; ПКЛ-70 и машины для расчистки полос (МРП-2, РГ-1,4) для создания однорядных культур ели. При создании двухрядных культур на пластах ПЛП-135 или на полосах шириной 3-4 м, подготовленных корчевателями-собирающими или бульдозерами, на 1 га высаживалось 4,4 тыс. сеянцев или 2,2 тыс. саженцев. На склонах 7-12° расстояние между полосами составляло 6 м, густота – такая же. На склонах 13-35° бульдозеры и террасеры формировали террасы с шириной полотна 3,5-4,0 м, с густотой культур от 2,0 до 5,4 тыс. шт/га [8].

Наиболее активным периодом лесовосстановления в Сахалинской области были 1966-1981 гг. Сахалинская ЛОС совместно с лабораторией искусственного лесовосстановления ДальНИИЛХ на базе выполненных исследований и обобщения производственного опыта разработала целый ряд научных рекомендаций [8-11].

Значительные площади лесных культур были созданы под пологом леса, в основном в южных лесничествах. Также проводились мероприятия по реконструкции насаждений. Основные объемы по созданию реконструктивных

и подпологовых культур приходится на Южно-Сахалинское (их доля составляет 15%), Долинское (10%), Корсаковское (12%), Краснотомское (10%), Макаровское (9%) и др. лесничества [3, 7].

В настоящее время больше всего создано культур сосны обыкновенной: площадь сомкнутых сосновых культур составляет 75,5 тыс. га. На втором месте находится ель аянская – 59,5 тыс. га. Лиственница курильская среди сомкнувшихся лесных культур занимает третье место. Исходя из этого целью исследований является оценка эффективности создания лесных культур на территории Сахалинской области.

Материалы и методы исследований.

Для решения поставленной цели изучены данные о производственных и опытных лесных культурах, участках с проведенными мероприятиями содействия естественному возобновлению леса, материалы лесоустройства лесничеств, источники литературы.

По архивным данным и источникам литературы были установлены происхождение посадочного материала, технология создания насаждений: способ подготовки почвы, время и способ посадки, возраст посадочного материала, размещение сеянцев на лесокультурной площади, тип смешения пород, приживаемость, дополнения, уход за почвой и насаждением, сведения об имевших место повреждениях культур вредителями и болезнями, низкими и высокими температурами, другими неблагоприятными факторами.

Результаты и их обсуждение. *Культуры сосны обыкновенной.* Лесные культуры сосны обыкновенной (рис. 1) создавались во всех лесничествах острова, на различных категориях земель (более 100 тыс. га). Результаты ее интродукции в различных лесорастительных условиях неоднозначны [3, 7, 9] (рис. 2).

По причине медленного роста сосны в северных лесничествах существует опасность уничтожения хорошо сохранившихся там 20-летних культур ввиду снежного шютте или «тепловых ожогов» в весенний период.

В южных лесничествах она повреждается мышевидными грызунами, и осенними, весенними циклонами с мокрым снегом. На ветроударных склонах и вдоль морского побережья часто наблюдается отмирание прироста последнего года, что зачастую приводит к кривизне стволов или многовершинности. По этим причинам культуры сосны обыкновенной рекомендуется создавать севернее линии Углегорск-Вахрушево, используя технологию, агротехнику, густоту,

рекомендованную для лесных культур лиственниц. Согласно полученным данным (рис. 2) лесные культуры сосны обыкновенной в условиях Сахалинской области в молодом возрасте растут

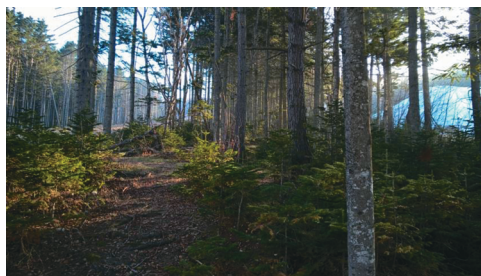


Рис. 1. Лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*)

Fig. 1. Forest crops of Scots pine (*Pinus sylvestris*)

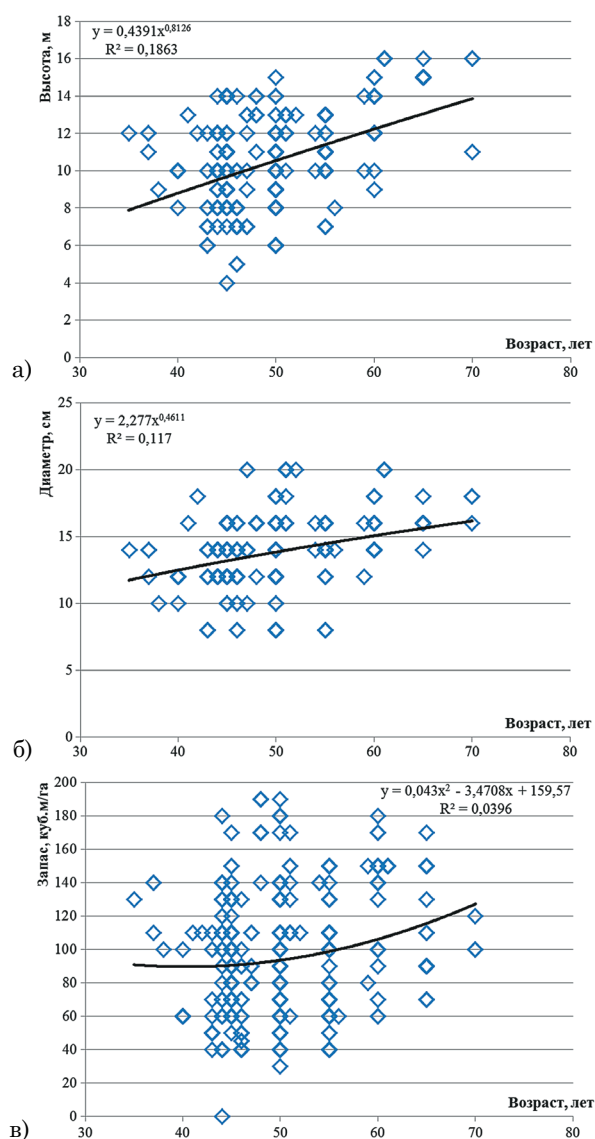


Рис. 2. Анализ роста лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*): а) по высоте; б) по диаметру; в) по запасу

Fig. 2. Analysis of the growth of forest crops of Scotch pine (*Pinus sylvestris*): а) by height; б) by diameter; в) by stock

медленно, в среднем развиваясь по IV классу бонитета.

Культуры ели аянской. Ель аянская (рис. 3) является одним из основных лесообразователей в центральных и южных лесничествах Сахалинской области. Ее культивируют на лесонепокрытых землях, не только возникших на месте темнохвойных лесов, но также вышедших из-под лиственничников разнотравных, зеленомошных и черничных, в которых происходит многовековая смена светлохвойных лесов ельниками [9].

Предпочтение культурам ели необходимо отдавать севернее перешейка Поясок (до 52° северной широты), где проходят границы Центрального и Южного лесорастительного районов. Также, учитывая климатические особенности западного и восточного побережий острова, ель лучше высаживать в Долинском лесничестве. К тому же для посадки ели более предпочтительно использовать склоны северных и восточных экспозиций [13-15].

Лесные культуры ели аянской в условиях Сахалинской области растут медленно, но достаточно равномерно, в среднем развиваясь по V классу бонитета и в возрасте 20 лет редко превышая высоту 2 м. К возрасту спелости в 101 год они достигают среднего диаметра в 24-28 см, запаса – 250-300 м³/га [12]. Анализ роста лесных культур ели, по данным материалов лесоустройства, представлен на графиках (рис. 4).

Лиственница курильская. Культуры лиственницы курильской (*Larix kurilensis*) (рис. 5) создавались на площадях, вышедших из-под лиственничников (вейниковый, разнотравный, черничный, зеленомошный типы леса), обычно приуроченных к пространствам Тымь-Поронайской низменности, относительно широким долинам других рек и Корсаковскому плато [9, 13, 14]. Однако, как показала лесокультурная практика, эта порода хорошо приживается и растет в самых разнообразных лесорастительных условиях коренных ельников и пихтарников. Мышевидными грызунами не повреждается, незначительно страдает от снега весной во время оседания наста.

Технология создания культур лиственниц аналогична темнохвойным породам, хотя густота их меньше (2,7-3,3 тыс./га) за счет большего расстояния посадки между растениями в ряду.

До 2003 г. созданием лесных культур занимались все лесхозы области, за исключением Курильского и Южно-Курильского, с 2004 г. не создавались культуры в Южно-Сахалинском и Охинском лесхозах. Объем лесокультурных работ по лесхозам колебался от 10 до 640 га [9].

Лесные культуры лиственницы в условиях Сахалинской области растут достаточно быстро, в среднем развиваясь по II-III классам бонитета и в возрасте 20 лет превышая высоту 5 м (рис. 6).

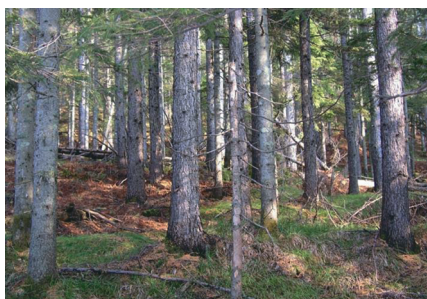


Рис. 3. Лесные культуры ели аянской
Fig. 3. Forest crops of Ayan spruce

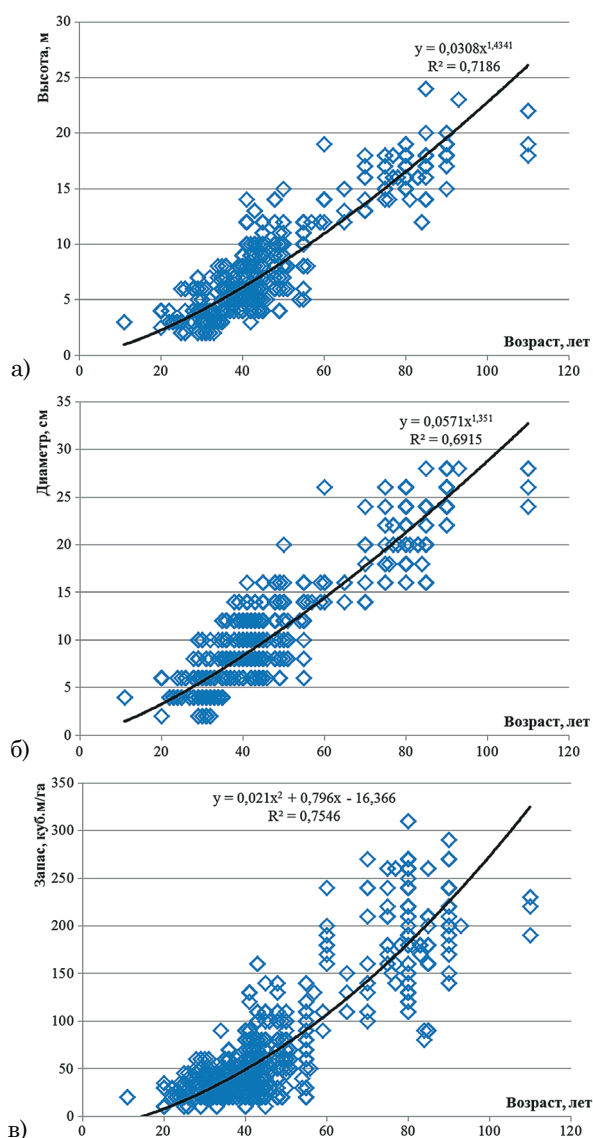


Рис. 4. Анализ роста лесных культур
ели аянской:

а) по высоте; б) по диаметру; в) по запасу
Fig. 4. Analysis of growth of forest crops
of Ayan spruce:
a) by height; b) by diameter; c) by stock

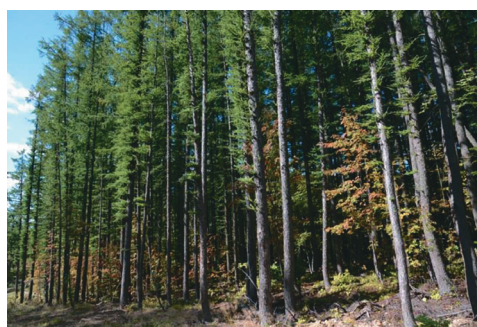


Рис. 5. Лесные культуры
из лиственницы курильской
в возрасте 75 лет.
Южно-Сахалинское лесничество
Fig. 5. Forest crops from Kuril larch
at the age of 75 years.
Yuzhno-Sakhalinsk Forestry

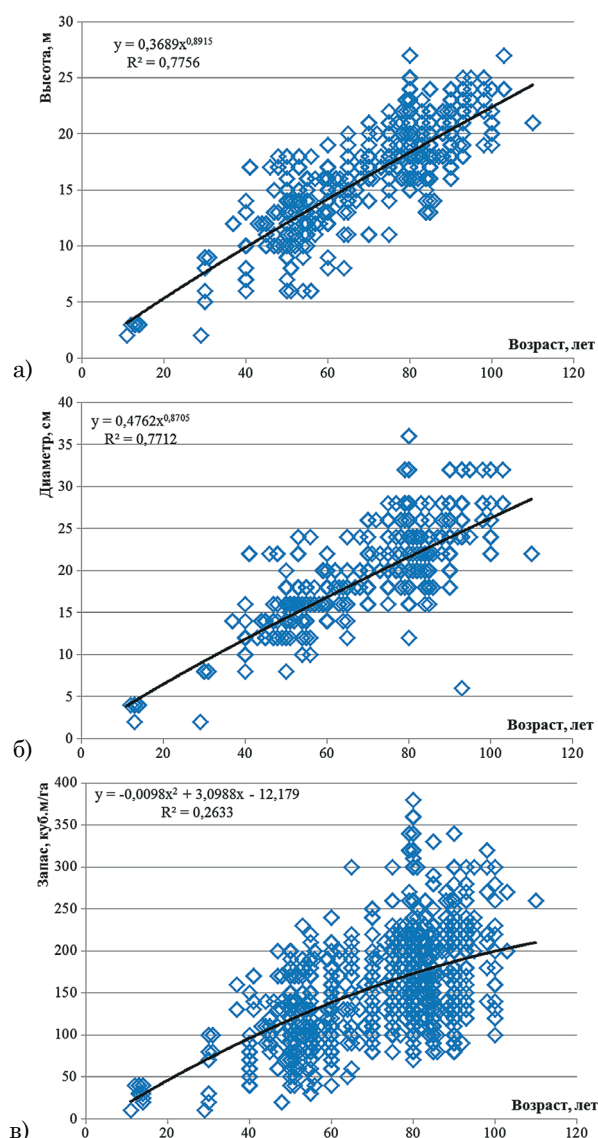


Рис. 6. Анализ роста лесных культур
лиственницы курильской:

а) по высоте; б) по диаметру; в) по запасу
Fig. 6. Analysis of the growth of forest crops
of Kuril larch:
a) by height; b) by diameter; c) by stock

Высокая приживаемость и хороший рост лиственницы в лесных культурах делают эту породу перспективной для искусственного лесовосстановления [15].

В лесных культурах лиственницы часто восстанавливаются тонкомер и подрост; формируются сомкнутые насаждения с запасом 200-300 м³/га [12].

Выводы

В результате исследований отметим, что на территории Сахалинской области был

выполнен большой объем лесокультурных работ, во время проведения которых освоено искусственное лесовосстановление на склонах разной экспозиции, в том числе на крутых и очень крутых склонах.

В результате оценки эффективности создания лесных культур отмечается, что наиболее целесообразно для искусственного восстановления лесов на территории Сахалинской области использовать лиственницу курильскую, так как она более эффективна в данных климатических условиях.

Список использованных источников

1. Сахалинская область: история, современность, перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции (17-18 октября 2012 г., г. Южно-Сахалинск) / Сост. А.С. Ломов; Правительство Сахалинской области; Сахалинский государственный университет. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2012. 300 с. ISBN 978-5-88811-427-8.
2. Растительный мир Сахалина // «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд». Владивосток: Изд-во «Апельсин», 2014. 172 с.
3. Власова И.И., Ерёмин В.М., Копанина А.В. Культуры сосны обыкновенной на // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1 (3). С. 863-866.
4. Шейнгауз А.С. Освоение лесов Дальнего Востока и использование их продуктивности с середины XIX до середины XX в. // Пространственная экономика. 2008. № 1. С. 118-146. DOI: 10.14530/se.2008.1.118-146.
5. Лесовосстановление на Дальнем Востоке // Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / Под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2009. С. 346-374.
6. Перевертайло И.И. Искусственное лесовосстановление на Дальнем Востоке (история, опыт, проблемы) // Региональные основы организации и ведения лесного хозяйства: Сборник трудов / ДальНИИЛХ. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2021. Вып. 35. С. 219-236.
7. Приходько О.Ю., Бычкова Т.А., Ким Г.Е. Современное состояние лесного фонда Дальневосточного федерального // Сибирский лесной журнал. 2021. № 1. С. 21-29. DOI: 10.15372/SJFS20210103.
8. Ивакина Е.В., Осипов С.В. Естественное и искусственное лесовосстановление в горнопромышленных ландшафтах Дальнего Востока России // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 4-19.
9. Смирнов А.А. Интродукция и натурализация хвойных на Сахалине // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». 2013. С. 213-217.
10. Леса Дальнего Востока. М., 1969. 390 с.
11. Основные мероприятия по облесению лесопокрываютых земель на Сахалине / сост. Н.П. Грищенко. Долинск: ДальНИИЛХ, 2000. 36 с.
12. Таксация леса. Ход роста насаждений: учебное пособие / И.С. Сальникова и др. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2020. 130 с.
13. Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта

References

1. Sakhalin region: history, modernity, perspectives: materials of the international scientific and practical conference (17-18 October 2012, Yuzhno-Sakhalinsk) / comp. A.S. Lomov; Sakhalin government of the region; Sakhalin. state university. Yuzhno-Sakhalinsk: izd-vo SakhGU, 2012. 300 p. ISBN 978-5-88811-427-8.
2. Flora of Sakhalin / «Sakhalin Energy Investment Company Ltd.». Vladivostok: Publishing house «Apel-sin», 2014. 172 p.
3. Vlasova I.I., Eremin V.M., Kopanina A.V. Crops of Scotch pine on // Izvestiya of the Samara scientific center skogo of the Russian Academy of Sciences. 2010. V. 12. № 1(3). P. 863-866.
4. Sheingauz A.S. Development of forests of the Far East and use of their productivity since the middle of XIX to the middle of XX c. // Spatial economics. 2008. № 1. P. 118-146. DOI: 10.14530/se.2008.1.118-146
5. Reforestation in the Far East // The modern state of the forests of the Russian Far East and the prospects for their use / ed. by A.P. Kovalev. Khabarovsk: Publishing house DalNIILKh, 2009. P. 346-374.
6. Perevertaj I.I. Artificial reforestation in the Far East (history, experience, problems) // Regional foundations of organization and forestry: collected papers / DalNIILH. Khabarovsk: Publishing house DalNIILKh, 2021. Vol. 35. P. 219-236.
7. Prikhodko O.Yu., Bychkova T.A., Kim G.E. The current state of the forest fund of the Far Eastern Federal // Siberian Forest Journal. 2021. № 1. P. 21-29. DOI: 10.15372/SJFS20210103
8. Ivakina E.V., Osipov S.V. Natural and artificial reforestation in the mining landscapes of the Far East of Russia // Siberian Forest Journal. 2016. № 2. P. 4-19.
9. Smirnov A.A. Introduction and naturalization of conifers on Sakhalin // Proceedings of higher educational institutions // Forest Journal. 2013. P. 213-217.
10. Forests of the Far East. M., 1969. 390 p.
11. The main measures for afforestation of forested lands on Sakhalin / comp. N.P. Grishchenko. Dolinsk: Dal-nIILKH, 2000. 36 p.
12. Forest taxation. The course of growth of plantations: a textbook / [I.S. Salnikova et al.] Yekaterinburg: UGLTU, 2020. 130 p.
13. Order of the Ministry of Natural Resources of 29.12.2021 No. 1024 «On Approval of the Rules for Reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusing to approve it, as well as requirements

лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления: приказ Минприроды от 29 декабря 2021 г. № 1024. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403417664/>.

14. Классификация и оценка земель гослесфонда для целей лесовыращивания сост. А.П. Сапожников, Д.Ф. Ефремов. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1995. 20 с.

15. ОСТ 56-92-93. Культуры лесные. Оценка качества. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. 38 с. URL: <https://e-ecolog.ru/docs/CdAGsKjtZtply0MQD0cRE>.

Критерии авторства

Голубев Д.А., Гула К.Е., Лашина Е.В., Колобанов К.А., Иванова А.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.12.2023

Одобрена после рецензирования 15.01.2023

Принята к публикации 15.01.2023

for the format in the electronic form of the reforestation project». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403417664/>

14. Classification and evaluation of the lands of the State Forestry Fund for the purposes of forest cultivation / comp. A.P. Sapozhnikov, D.F. Efremov. Khabarovsk: DalNIILKH, 1995. 20 p.

15. OST 56-92-93. Forest crops. Quality assessment. M: VNIITSlesresurs, 1994. 38 p. <https://e-ecolog.ru/docs/CdAGsKjtZtply0MQD0cRE>

Criteria of authorship

Golubev D.A., Gula K.E., Lashina E.V., Kolobanov K.A., Ivanova A.A. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

The article was submitted to the editorial office 15.12.2022

Approved after reviewing 15.01.2023

Accepted for publication 15.01.2023



Оригинальная статья

УДК 630.2*:528.94

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-120-123

ПОСТРОЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛЕСНЫХ ПОКРЫТИЙ

Тахмазов Табриз, докторант

Thmzovtbriz66@gmail.com

Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. Статья посвящена построению универсальной модели скорости изменения площади лесных покрытий. Предложен вариант показателя скорости обезлесения, в котором площадь лесного покрытия в конце рассматриваемого интервала времени является функцией его длительности. Отмечено, что введение указанной функциональной зависимости приводит к универсальности вводимой оценки скорости процесса, так как появляется возможность оценивать не только процесс обезлесения, но и процессы лесопосадки. Проанализирован показатель усредненной по рассматриваемому интервалу времени скорости процесса обезлесения. Сформирована и решена задача вариационной оптимизации введенного усредненного показателя с учетом вновь введенного ограничительного условия применительно к вышеотмеченной функциональной зависимости. Вычислена конкретная оценка нововведенного усредненного показателя в виде смещаемой оценки по оси времени при наличии жесткой связи между конечными точками рассматриваемого временного интервала усреднения.

Ключевые слова: обезлесение, оптимизация, математическая модель, вырубка леса, биоразнообразие

Формат цитирования: Тахмазов Табриз. Построение универсальной модели оценки степени изменения площади лесных покрытий // Природообустройство. 2023. № 2. С. 120-123. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-120-123.

© Тахмазов Табриз, 2023

Original article

CONSTRUCTION OF A UNIVERSAL MODEL FOR ASSESSING THE DEGREE OF CHANGE IN THE AREA OF FOREST COVERINGS

Tahmazov Tabriz, doctoral student

Thmzovtbriz66@gmail.com

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

Annotation. The article is devoted to the construction of a universal model of the rate of change in the area of forest coverings. A variant of the deforestation rate indicator is proposed, in which the area of forest cover at the end of the time interval under consideration is a function of the duration of the specified time interval. It is noted that the introduction of this functional dependence leads to the universality of the introduced assessment of the speed of the process, since it becomes possible to evaluate not only the deforestation process, but also the processes of forest planting. The indicator of the speed of the deforestation process averaged over the considered time interval is analyzed. The problem of variational optimization of the introduced average indicator has been formed and solved, taking into account the newly introduced restrictive condition in relation to the above-mentioned functional dependence. A specific estimate of the new averaged indicator is calculated in the form of a shifted estimate along the time axis in the presence of a rigid connection between the endpoints of the considered averaging time interval.

Keywords: disafforestation, optimization, mathematical model, deforestation, biodiversity

Format of citation: Tahmazov Tabriz. Construction of a universal model for assessing the degree of change in the area of forest coverings // Prirodoobustroystvo. 2023. No. 2. S. 120-123. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-120-123.

Введение. Как отмечается в исследованиях [1], обезлесение, или вырубка лесов (deforestation), является одним из важнейших вопросов в период глобального изменения климата. Обезлесение приводит к таким негативным событиям, как уменьшение биоразнообразия и увеличение эмиссии парниковых газов. При этом основные причины, приводящие к обезлесению, подразделяются на непосредственные и косвенные. К непосредственным причинам относятся в основном прямая рубка леса и природные бедствия. К косвенным причинам относятся те факторы, которые формируются посредством социально-экономических процессов. Вместе с тем [2] обезлесение является двунаправленным процессом, то есть факторы, приводящие к обезлесению, также способны содействовать развитию лесов. Например, развитие сельскохозяйственных технологий может привести как к обезлесению, так и к развитию лесов, или, например, охрана государственного управления, введя прозрачные нормы, может улучшить сохраняемость лесов и в то же время, снижая штрафы за незаконную рубку лесов, содействовать этому процессу.

Процесс обезлесения происходит при выполнении условия [3]:

$$A_i + DV_i > F_i \cdot H_i + IP_i \quad (1)$$

где A_i – чистая стоимость сельского хозяйства; DV_i – стоимость обезлесения; F_i – чистая стоимость лесоводства; IP_i – платежи по стимулированию; H_i – коэффициент пропорциональности, $H = 1,5$ [3].

Как следует из выражения (1), наличие обезлесения определяется путем сравнения чистой стоимости сельского хозяйства и лесоводства. При этом в левую сторону (1) добавлена выгода ввиду обезлесения и уменьшения углеродных запасов, а в правую сторону – платежи по укреплению лесоводства.

Существует модель Чапмана-Ричардса [4], определяющая процесс изменения площади лесного покрытия в зависимости от демографических и экологических факторов:

$$\frac{dy}{dp} = b_1 \cdot y^{b_2} - b_3 \cdot y \quad (2)$$

где y – процент территории, не покрытой лесом; $\frac{dy}{dp}$ – производная y по плотности населения; b_1, b_2, b_3 – параметры процесса.

При этом показатель y определяется как

$$y = \frac{S - y}{S} \cdot 100\% \quad (3)$$

где S – общая площадь территории.

Интегрирование (3) дает [4]:

$$y = a_0 \cdot (1 - a_1 \cdot \exp[-a_2 P])^{a_3} \quad (4)$$

где P – плотность населения; a_0, a_1, a_2, a_3 – параметры процесса.

Как следует из выражения (4), рост плотности населения приводит к увеличению площади территории, не покрытой лесом.

Как видим из вышеприведенных модельных построений, модели (1)–(4) в основном направлены на оценку процесса обезлесения, и их возможности для процессов развития лесов детально не изучены.

С учетом вышесказанного имеет смысл разработать новую модель процесса изменения площади лесных территорий – в частности, через показатель скорости (степени) таких изменений. Далее рассмотрим возможность построения такой универсальной модели на базе известного выражения для оценки степени (скорости) процесса обезлесения.

Предлагаемый метод. Существует закон [5] совместной заинтересованности (Compound Interest Law), в соответствии с которым среднегодовой уровень изменения площади лесных покрытий определяется как

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{\frac{1}{t_2 - t_1}} - 1 \quad (6)$$

где A_1 и A_2 – площади лесных покрытий во временные моменты t_2 и t_1 .

На основе (5) можно вывести формулу [6–10] для вычисления скорости обезлесения:

$$R = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \quad (6)$$

Формула (6) интуитивно более понятна [11], чем формула (5). При этом оценки, полученные по формуле (6), всегда выше, чем оценки по формуле (5).

Детальные вычисления скорости обезлесения, например, приведены в работе [12]. Рассмотрим предлагаемую модификацию формулы (6) для придания ей более высокой универсальности.

Модификация показателя (6) осуществляется по следующим пунктам.

1) Выражение (6) приводится к виду

$$R = \frac{1}{\tau} \cdot \ln \frac{A_2}{A_1} \quad (7)$$

где $\tau = t_2 - t_1$.

2) Вводится на рассмотрение функция

$$A_2 = f(\tau) \quad (8)$$

3) Принимается следующее ограничительное условие:

$$\int_0^{\tau_{\max}} f(\tau) d\tau = C; C = \text{const} \quad (9)$$

Отметим, что условие (9) определяет универсальность введенной функции $f(\tau)$, т.е. показатель A_2 на интервале $0 \div \tau_{\max}$ может как расти от нуля до $A_{2\max}$, так и уменьшаться в обратном порядке (рис. 1).

4) Вводится на рассмотрение среднеинтегральная величина R , то есть

$$R_{\text{ср.инт}} = \frac{1}{\tau_{\max} - \tau_{\min}} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{1}{\tau} \ln \frac{A_2(\tau)}{A_1} d\tau \quad (10)$$

5) Решается оптимизационная задача вычисления экстремала функционала (10) с учетом условия (9), при котором $R_{\text{ср.инт}}$ достигает экстремальной величины.

Представим решение сформулированной оптимизационной задачи. С учетом выражений (9) и (10) сформулируем функционал F безусловной вариационной оптимизации:

$$F = \frac{1}{\tau_{\max} - \tau_{\min}} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{1}{\tau} \ln \frac{A_2(\tau)}{A_1} d\tau + \lambda \left[\int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} A_2(\tau) d\tau - C \right] \quad (11)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно условию уравнения Эйлера [12] решение задачи должно отвечать условию:

$$\frac{d \left\{ \frac{1}{\tau} \ln \frac{A_2(\tau)}{A_1} d\tau + \lambda A_2(\tau) \right\}}{dA_2(\tau)} = 0 \quad (12)$$

Из (12) получаем

$$\frac{1}{\tau \cdot A_2(\tau)} + \lambda = 0 \quad (13)$$

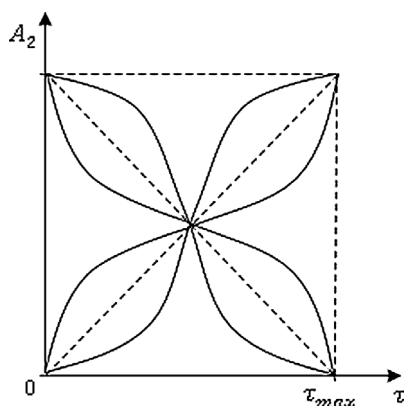


Рис. Геометрическая интерпретация условия (9) в отношении введенной функции $f(\tau)$

Fig. Geometrical interpretation of condition (9) as to the introduced function $f(\tau)$

Из (13) находим

$$A_2(\tau) = -\frac{1}{\tau\lambda} \quad (14)$$

С учетом (9) и (14) имеем

$$-\int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{1}{\tau} d\tau = C \quad (15)$$

Из (15) находим:

$$\lambda = -\frac{1}{C} \ln \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} \right) \quad (16)$$

Из выражений (15) и (16) находим

$$A_2(\tau) = \frac{C}{\tau \ln \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} \right)} \quad (17)$$

Таким образом, (17) представляет собой решение оптимизационной задачи (11).

Чтобы определить тип экстремума (минимум или максимум), вычислим производную (13) относительно $A_2(\tau)$ и определим, что знак получаемого результата является минусовым, то есть при решении (17) достигается максимум функционала (11).

Вычислим значение указанного максимума функционала (10). С учетом (10) и (17) получим:

$$R_{\text{ср.инт}} = \frac{1}{\Delta\tau} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{1}{\tau} \ln \frac{C}{\tau \ln \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} \right) \cdot A_1} d\tau \quad (18)$$

где $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$.

Примем, что

$$\ln \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} \right) = C_1; \frac{C}{C_1 A_1} = C_2 \quad (19)$$

С учетом (19) выражение (18) приведем к виду:

$$R_{\text{ср.инт}} = \frac{1}{\Delta\tau \cdot C_2} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{C_2}{\tau} \ln \frac{C_2}{\tau} d\tau \quad (20)$$

В выражении (20) осуществим замену переменной интегрирования τ на $x = \frac{C_2}{\tau}$. В этом случае (20) приобретает следующий вид

$$R_{\text{ср.инт}} = \frac{1}{\Delta\tau \cdot C_2} \int_{C_2/\tau_{\max}}^{C_2/\tau_{\min}} x \ln x dx \quad (21)$$

С учетом известной формулы [12]

$$\int_{C_2/\tau_{\max}}^{C_2/\tau_{\min}} x \ln x dx = \frac{x^2}{2} \ln x - \frac{x^2}{4} \quad (22)$$

С учетом (21) и (22) получим следующую формулу для вычисления $R_{\text{ср.инт}}$:

$$R_{\text{ср.инт}} = \frac{\left(\frac{C_2}{\tau_{\min}}\right)^2 \left[1 - 2 \ln \frac{C_2}{\tau_{\min}}\right] - \left(\frac{C_2}{\tau_{\max}}\right)^2 \left[1 - 2 \ln \frac{C_2}{\tau_{\max}}\right]}{4 \cdot \Delta \tau \cdot C_2} \quad (23)$$

Из выражения (23), например, при $\tau_{\max} = e \cdot \tau_{\min}$, где $e = 2,73$ можно получить следующую оценку:

$$R_{\text{ср.инт}} = \frac{e^2(1 - 2 \ln 1,73) + 2 \ln 1,73 + 1}{4z_{\max}^2}$$

или

$$R_{\text{ср.инт}} \cdot z_{\max}^2 \approx 0,34 \quad (24)$$

Как следует из оценки (24), с ростом $\tau_{\max}$ оценка $R_{\text{ср.инт}}$ будет убывать по квадратичному закону учитывая исходное условие расчета $\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} = e$, то есть (24) является смещаемой оценкой $R_{\text{ср.инт}}$ по оси τ .

Заключение

Проведены модельные исследования известной формулы для оценки скорости обезлесения. Предложен модифицированный вариант

показателя скорости обезлесения, в котором площадь лесного покрытия в конце рассматриваемого интервала времени является функцией его длительности. Отмечено, что введение указанной функциональной зависимости приводит к универсальности вводимой оценки скорости процесса, так как появляется возможность оценивать не только процесс обезлесения, но и процессы лесопосадки.

Предложен показатель усредненной по рассматриваемому интервалу времени скорости процесса обезлесения. Сформирована и решена задача вариационной оптимизации введенного усредненного показателя с учетом вновь введенного ограничительного условия применительно к вышеотмеченной функциональной зависимости. Вычислена конкретная оценка нововведенного усредненного показателя в виде смещаемой оценки по оси времени при наличии жесткой связи между конечными точками рассматриваемого временного интервала усреднения.

Показано, что нововведенный усредненный показатель скорости процесса имеет максимум, который убывает по обратному квадратичному закону в зависимости от величины конечной точки рассматриваемого интервала времени.

Список использованных источников / References

1. Indarto J., Mutaqin D.J. An overview of theoretical and empirical studies on deforestation // Journal of International Development and Cooperation. Vol. 22. No 1& No 2. 2016. Pp. 107-120
2. Robinson B.E., Holland M.B., Naughton-Treves L. Does secure land tenure save forests? A meta-analysis of the relationship between land tenure and tropical deforestation // Global Environmental Change. 29(2014). Pp. 281-293
3. Kindermann G.E., Obersteiner M., Rametsteiner E., McCallum I. Carbon balance and management // Biomed Central.
4. Marzoli W.A. Appendix 3: Modeling deforestation baselines using the forest area change model for the Calakmul and Meseta Purepecha regions in Mexico.
5. Fearnside P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia // Forest resources assessment 1990. Global Synthesis. FAO. Rome.
6. Puyravaud J.P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation // Forest ecology and management 177. 2003. Pp. 593-596
7. Menon S., Bawa K.S. Applications of geographic information systems, remote sensing and a landscape ecology approach to biodiversity conservation in the Western Ghats // Curr. Sci. vol. 73. Pp. 134-145. 1997
8. Ramesh B.R., Menon S., Bawa K.S. A vegetation based approach to biodiversity gap analysis in the Agastya-malai region, Western Ghats, India // Ambio. Vol. 26. Pp. 536-539. 1997.
9. Puyravaud J.P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation // Forest ecology and Management. Vol. 177(1-3). Pp. 593-596. 2003
10. Prasad N.S. Conservation planning for the western Ghats of Kerala: assessment of habitat loss and degradation // Curr. Sci. Vol. 75. Pp. 228-235. 1998
11. Rijal S., Saleh M.B., Jaya N.S., Tiryan T. Deforestation profile of regency level in Sumatra // International Journal of sciences basic and applied research. ISSN2307-4531
12. Rijal S., Vicayana D.P., Barkey R.A., Aki-muddin I., Mukhlisa A.N. Spatial patterns analysis of deforestation in palopo municipality and east luwu regency // The 4th International Conference of Indonesian Society for remote Sensing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 280. 2019. Doi: 10.1088/1755-1315/280/1/012028

Критерии авторства

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

Статья поступила в редакцию 27.01.2023

Одобрена после рецензирования 01.03.2023

Принята к публикации 01.03.2023

Criteria of authorship

Tahmazov Tabriz carried out theoretical and practical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript. He has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 27.01.2023

Approved after reviewing 01.03.2023

Accepted for publication 01.03.2023

Оригинальная статья

УДК 712.3+630*24

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-124-130



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ ПАРКОВОЙ ЧАСТИ ДВОРЯНСКОЙ УСАДЬБЫ Н.Н. ГРИГОРЬЕВА (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Лебедев Александр Вячеславович^{1,2✉}, канд. с.-х. наук, доцент, научный сотрудник
WOSResearchID: AAX-9891-2020; ScopusAuthorID: 57214907823; РИНЦИД: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Кочнев Ярослав Владимирович¹, магистрант

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

² ФГБУ «Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синецкого»; 157440, Костромская обл., Кологрив, Центральная ул., 15, Россия

Аннотация. Актуальную проблему в сфере охраны культурного наследия представляет сохранение провинциальной русской усадьбы, исторических парков как элемента политической, экономической и культурной жизни дореволюционной России. Целью исследований являлась оценка современного состояния насаждений парковой части дворянской усадьбы Н.Н. Григорьева в деревне Иваново Кологривского муниципального округа Костромской области. Исследования проводились в несколько этапов с применением историко-архивной экспертизы, натурных обследований, графоаналитического метода. Создание парка происходило в два этапа на протяжении XIX в. На первом этапе был заложен регулярный парк с липовыми аллеями, на втором этапе созданы лиственнично-березовые посадки. В настоящее время парковая часть усадьбы представлена липово-лиственничными двухъярусными насаждениями. На участке преобладает липовый подрост средней густоты, подлесок редкий. В травянистом покрове заметно доминируют *Fragaria moschata*, *Aegopodium podagraria*. В изучаемых парковых посадках сильно выражена дифференциация деревьев по морфометрическим показателям. Наибольшее количество деревьев липы сосредоточено в ступенях толщины 36-40 см (45,2% от всех учтенных деревьев). Ступенями толщины с наибольшим количеством стволов лиственниц являются 48-56 см (37,3% от всех учтенных деревьев). Оценка санитарного состояния насаждений и структуры древесного полога позволила сделать вывод о том, что происходит активный процесс распада парковых посадок. Для сохранения историко-культурной ценности объекта необходимо проведение мероприятий по его реконструкции. Современное использование территории может включать в себя создание и реализацию туристического маршрута.

Ключевые слова: дворянская усадьба, парк, культурное наследие, состояние насаждений, Костромская область, Кологрив

Формат цитирования: Лебедев А.В., Кочнев Я.В. Современное состояние насаждений парковой части дворянской усадьбы Н.Н. Григорьева (Костромская область) // Природообустройство. 2023. № 2. С. 124-130. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-124-130.

© Лебедев А.В., Кочнев Я.В., 2023

Original article

THE CURRENT STATE OF THE PLANTATIONS OF THE PARK PART OF THE NOBLE ESTATE OF N.N. GRIGORIEV (KOSTROMA REGION)

Lebedev Alexander Vyacheslavovich^{1,2}, candidate of agricultural sciences, associate professor;
a researcher; канд. с.-х. наук, доцент

WOSResearchID: AAX-9891-2020; ScopusAuthorID: 57214907823; РИНЦИД: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

Kochnev Yaroslav Vladimirovich, student of MA course

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya St., 49, Russia

² FSBI State Nature Reserve «Kologrivsky Forest» named after M.G. Sinitsyn, Kologriv, Russia

Annotation. An important problem in the protection of cultural heritage is the preservation of a provincial Russian noble estate, historical parks, as an element of the political, economic and cultural

life of pre-revolutionary Russia. The aim of the study was to assess the current state of plantings in the park part of the noble estate of N.N. Grigoriev in the village of Ivanovo, Kologrivsky municipal district, Kostroma region. The research was carried out in several stages using the following methods: historical and archival expertise, field surveys, graphic-analytical method. The creation of the park took place in two stages during the 19th century, on the first of which a regular park with linden alleys was laid, and on the second, larch-birch plantations were created. Currently, the park part of the estate is represented by linden-larch two-tier stands. The site is dominated by linden undergrowth of medium density, with asparse undergrowth. *Fragaria moschata* and *Aegopodium podagraria* noticeably dominate in the herbaceous cover. In the studied park plantings, the differentiation of trees according to morphometric parameters is strongly pronounced. The largest number of linden trees is concentrated in diameter classes with a thickness of 36-40 cm (45.2% of all registered trees). Diameter classes with the largest number of larch trunks are 48-56 cm (37.3% of all considered trees). An assessment of the sanitary condition of plantings and the structure of the tree canopy made it possible to conclude that an active process of decay of park plantings is taking place. To preserve the historical and cultural value of the object, it is necessary to carry out measures for its reconstruction. Modern use of the territory may include the creation and implementation of a tourist route.

Keywords: noble estate, park, cultural heritage, state of plantations, Kostroma region, Kologriv

Format of citation: Lebedev A.V., Kochnev Ya.V. The current state of the plantations of the park part of the noble estate of N.N. Grigoiev (Kostroma region) // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 124-130. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-124-130.

Введение. Дворянская усадьба – это воплощение стиля жизни и мироощущения ее владельца, патриархальный семейный очаг, миниатюрный прообраз царского двора, многофункциональное огромное хозяйство, уникальный садово-парковый объект. Провинциальные усадьбы Российской империи представляют удивительный феномен, вызывающий большой интерес среди как историков, так и специалистов в области садово-паркового искусства. Такие усадьбы являются наиболее массовыми и типичными, но при этом наименее изученными [1].

Проведенные ранее исследования охватывали преимущественно крупные комплексы, расположенные поблизости от Москвы (Архангельское, Кусково, Покровское-Стрешнево) и Санкт-Петербурга (Марьино, Белогорка, Жерновка), а также отдельные усадьбы, связанные с именами выдающихся деятелей (Ясная Поляна, Абрамцево, Болдино, Щелыково). Интерес исследователей к провинциальным усадьбам стал повышаться в последние десятилетия. При этом провинциальные усадебные комплексы отражают явления, характерные для российского культурного процесса в целом [2, 3].

Дворянские усадьбы Костромской губернии можно считать типичными для Центрального Нечерноземья России. Эти провинциальные усадьбы мало чем напоминают величественные столичные комплексы – они имеют по-своему уникальную планировочную и архитектурно-пространственную структуру. Костромская губерния на протяжении своей истории относилась

к разряду мелкопоместных: подавляющему большинству дворян принадлежали менее 100 душ крепостных. Имущественное положение костромских помещиков было причиной того, что усадьба играла главным образом экономическую роль. Она обеспечивала владельцам и место, и средства для жизни [4].

К особенностям костромских дворянских усадеб можно отнести то, что главным строительным материалом было дерево. Каменные постройки встречаются крайне редко. В советские годы многие из усадеб были заброшены, поэтому их сохранность к настоящему времени является крайне низкой, а значительная часть безвозвратно утрачена. Особенно актуален вопрос сохранности усадебных комплексов для Кологривского округа Костромской области, где насчитывается более 100 объектов культурного наследия [5], подавляющее большинство из которых относится к памятникам деревянного зодчества. При этом до наших дней из более чем десятка дворянских усадеб сохранились фрагменты планировки и парковых посадок только одной из них – Иваново (Ивановское).

Актуальную проблему в сфере охраны культурного наследия представляет сохранение провинциальной русской усадьбы, исторических парков как элемента политической, экономической и культурной жизни дореволюционной России. Именно мир дворянской усадьбы с ее архитектурными и планировочными особенностями, объектами садово-паркового строительства определяет национальный облик и аутентичность

России как живое воплощение русских культурных традиций [6, 7].

С учетом важности сохранения информации о сохранившихся дворянских усадьбах и парках для оценки их роли в историческом и культурном процессах, а также для возможного последующего восстановления целью исследований стала оценка современного состояния насаждений парковой части дворянской усадьбы Н.Н. Григорьева в деревне Иваново Кологривского округа Костромской области.

Материалы и методы исследований.

Деревня Иваново (Ивановское) расположена в Кологривском муниципальном округе Костромской области в 15 км на юго-востоке от г. Кологрив на правом берегу реки Унжи. Известной она является с начала XIX в., когда принадлежала коллежскому секретарю Ивану Семенову, а в последующем по наследству перешла к его дочери Елизавете Ивановне. В конце 1820-х – начале 1830-х гг. Е.И. Семенова вышла замуж за надворного советника Алексея Павловича Вица, который в первой четверти XIX в. служил старшим врачом сельского воспитательного дома в Гатчине (1803-1806), помощником старшего врача (1806-1813), а затем старшим врачом Гатчинского городского госпиталя Дворцового ведомства (1813-1814). В это время за главным усадебным домом был разбит регулярный парк с липовыми аллеями, окруженный открытыми партерами. В 1860 г., после смерти Е.И. Вица, усадьба перешла по наследству к ее дочери Елизавете Алексеевне Григорьевой, а в 1870-е гг. – к Николаю Николаевичу Григорьеву, сыну Елизаветы Алексеевны.

При Н.Н. Григорьеве усадьба перестраивалась в соответствии с требованиями времени. Был выстроен новый двухэтажный жилой дом

на каменном фундаменте с флигелем, увеличена территория парка, возведены конюшни и коровник. Позднее, в 1901 г., на прилегающей к усадьбе территории был организован детский сиротский приют со школой. В 1918 г. усадьба Ивановское была национализирована, но до 1924 г. семья Григорьевых продолжала проживать в усадебном доме.

Расположение исследуемой территории представлено на рисунке 1. Исследования проводились в несколько этапов с применением историко-архивной экспертизы, натурных обследований и графоаналитического метода [6].

На первом этапе исследований происходил сбор исторической информации об усадьбе. Поиск информации осуществлялся в таких организациях, как Российский государственный архив древних актов, Российская государственная библиотека, Государственный архив Костромской области, Кологривский краеведческий музей имени Г.А. Ладыженского, отдел по делам архивов администрации Кологривского муниципального округа.

На втором этапе проводилось натурное обследование территории усадьбы с применением метода ландшафтного анализа. Осуществлялось ознакомление с существующими зданиями, сооружениями и руинированными объектами, изучались рельеф и пространственное положение усадьбы. Определялся ассортимент травянистых растений. Выполнялась инвентаризация древесных растений в парковых посадках с применением как методики Академии коммунального хозяйства имени К.Д. Памфилова, так и метода ландшафтной таксации с привлечением данных съемки территории квадрокоптером DJI Phantom 4. Санитарное состояние деревьев определялось по 5-балльной шкале: без признаков ослабления; ослабленные; сильно ослабленные; усыхающие; сухостой – с учетом признаков, обозначенных в Правилах санитарного состояния в лесах.

На третьем этапе оформлялись перечетные ведомости, составлялся план расположения учтенных деревьев на территории парка с анализом полученных на предыдущих этапах материалов.

Результаты и их обсуждение.

В настоящее время парковая часть усадьбы Ивановское представлена липово-лиственничными двухъярусными насаждениями (табл. 1). Первый древесный ярус представлен посадками лиственницы, липы и березы (ЗЛц6Лп1Б)

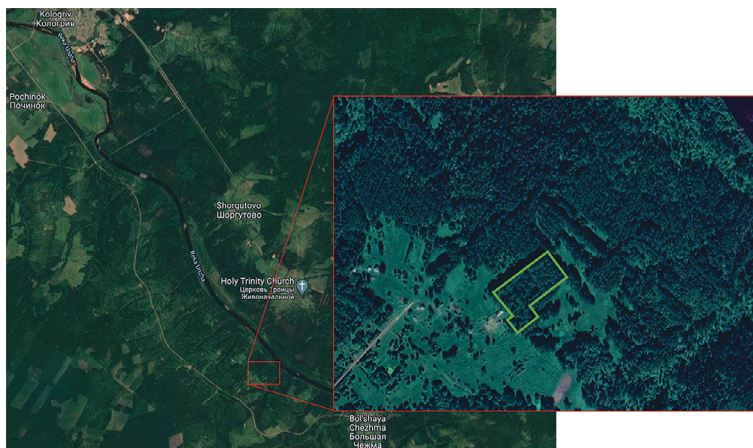


Рис. 1. Расположение исследуемой территории (зеленый контур)

Fig. 1. Location of the studied area (green outline)

Таблица 1. Результаты глазомерно-измерительной таксации насаждений

Table 1. Results of eye-measuring taxation of plantations

Состав Composition	Ярус Tier	Элемент леса Forest element	Возраст, лет Age, years	Средние / Average		Сумма площадей сечений, м ² /га Sum of basal areas, m ² /ha	Запас, м ³ /га Stock, m ³ /ha
				высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm		
3Лп6Лп1Б 3Lr6Ln1B	1	Лиственница / Larch	130	30	52	7,5	100
		Липа / Linden	190	24	42	17,0	190
		Береза / Birch	130	26	60	1,5	20
		Итого / Total	-	-	-	26,0	310
10Лп 10 Ln	2	Липа / Linden	40	13	12	8,5	60
		Итого / Total	-	-	-	8,5	60

Рис. 2. План расположения
учтенных деревьев в парковых посадкахFig. 2. Plan for the location
of the registered trees in park plantings

с общим запасом 310 м³/га. Второй ярус сформирован деревьями липы естественного происхождения (10Лп) с запасом 60 м³/га и средней высотой 13 м. В подросте (густота – 3000 шт/га) преобладает липа мелколистная (*Tilia cordata*), незначительным является участие ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и клена остролистного (*Acer platanoides*). Подлесок – редкий, сформирован из таких древесно-кустарниковых видов, как черемуха обыкновенная (*Prunus padus*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), смородина колючая (*Ribes spicatum*), смородина черная (*Ribes*

nigrum), шиповник иглистый (*Rosa acicularis*) и малина обыкновенная (*Rubus idaeus*).

В структуре травянистого покрова среднее проективное покрытие (20-40%) имеют земляника мускусная (*Fragaria moschata*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*); низкое покрытие (5-20%) – щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana*), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), костяника (*Rubus saxatilis*); незначительное покрытие (менее 5%) – земляника лесная (*Fragaria vesca*), будра плющевидная (*Glechoma hederacea*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), яснотка желтая (*Lamium galeobdolon*), звездчатка ланцетолистная (*Rubra holostea*), бор развесистый (*Milium effusum*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), ортилия однобокая (*Orthilia secunda*).

План расположения деревьев в учтенных парковых посадках представлен на рисунке 2. Юго-западная часть парка заложена при Елизавете Ивановне и Алексее Павловиче Виц в первой половине XIX в. Планировка того периода была представлена аллеями из липы мелколистной (*Tilia cordata*) и открытыми партерами из злаков и цветочных растений из местной флоры, расположенных по периметру парка. Древесные растения располагались по границам участков треугольной формы. Шаг посадки в ряду на центральных аллеях составлял 1 сажень (2,13 м), а на второстепенных – 0,5 сажени (1,065 м). Главная задача такого размещения деревьев заключалась в формировании геометрического объема в виде плотной зеленой стены. По периметру парка прямоугольной формы была создана густая липовая обсадка (с шагом 0,5 сажени – 1,065 м). Вход на главную аллею, разбитую по центру симметрии господского дома, был оформлен в виде раструба.

В последней четверти XIX в. Николай Николаевич Григорьев изменил планировку парка,

в том числе путем введения интродуцентов, что соответствовало особенностям садово-паркового строительства того времени. За счет северо-восточного партера парк был увеличен практически в два раза. По периметру были выполнены рядовые посадки: с внутренней стороны – лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), с внешней стороны – березы повислой (*Betula pendula*).

Использование древесных пород с разной скоростью прохождения жизненных этапов позволило быстро сформировать живописную сомкнутую рядовую обсадку из березы. В центральной части регулярного парка с шагом в 1 сажень (2,13 м) были заложены две лиственничные аллеи, а во вновь образованной части также высажена лиственница, но в свободном стиле.

В изучаемых парковых посадках сильно выражена дифференциация деревьев по морфометрическим показателям. На рисунке 3 показана структура рядов распределения диаметров стволов деревьев (на высоте 1,3 м) липы и лиственницы по 4-сантиметровым ступеням толщины. Наибольшее количество деревьев липы сосредоточено в ступенях толщины 36 и 40 см (22,9 и 22,3% соответственно). Деревья с диаметром стволов более 44 см встречаются главным образом в местах распада перегущенных аллейных посадок. Отмечено единичное дерево липы с диаметром ствола 92 см. Ступенями толщины с наибольшим количеством стволов лиственниц являются 48-56 см. Суммарно к ним относится 37,3% от всех учтенных деревьев.

К настоящему времени в парковых насаждениях выпала практически вся береза, остались лишь единичные деревья. Половина обследованных деревьев лиственницы и липы относится к категории здоровых (рис. 4). Примерно 1/5 деревьев является ослабленной, с разреженной кроной, уменьшенным

приростом, со светло-зеленой листвой (хвоей) и с засохшими единичными ветвями. Сильно ослабленными являются около 10% деревьев, которые характеризуются ажурными кронами, слабым приростом, а усыхание ветвей составляет до 2/3 кроны. Усыхающие деревья лиственницы составляют 11% от обследованного количества, а деревья липы – 7%. Сухостойных и ветровальных деревьев лиственницы – 14%, липы – 11%. На листьях липы обнаружены повреждения липовой молью-пестрянкой (*Phyllonorycter issikii*). Крупномерные деревья лиственницы в парковых посадках подвержены ветровальности. На это явление обращается внимание в исследованиях, проводимых и для других территорий [8]. Кроме того, в западной части парка обнаружены следы рубки местными жителями деревьев ценной лиственничной древесины.

Таким образом, при отсутствии ухода за насаждениями происходит активный процесс

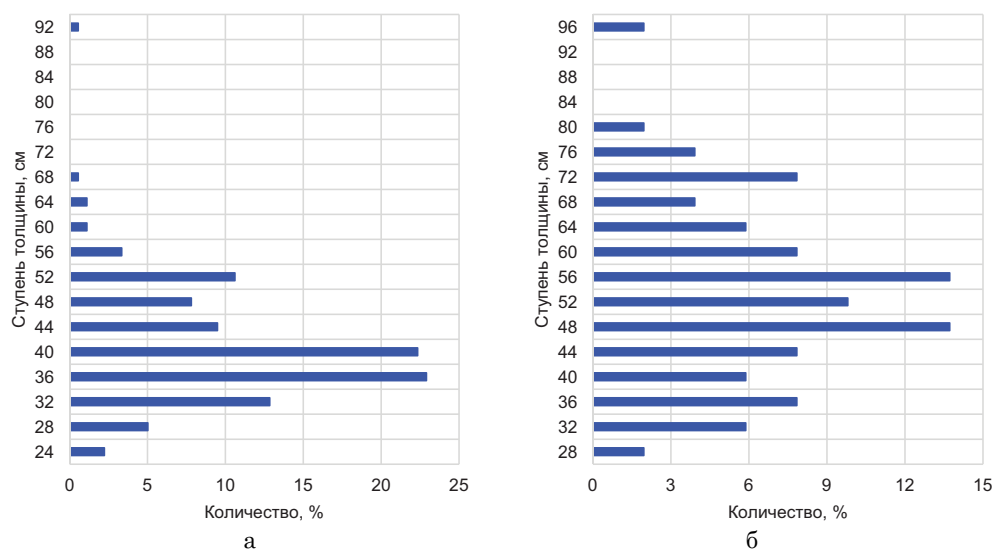


Рис. 3. Распределение деревьев по ступеням толщины:
а) липа мелколистная; б) лиственница сибирская

Fig. 3. Distribution of trees by steps of thickness:
a) small-leaved linden, b) Siberian larch

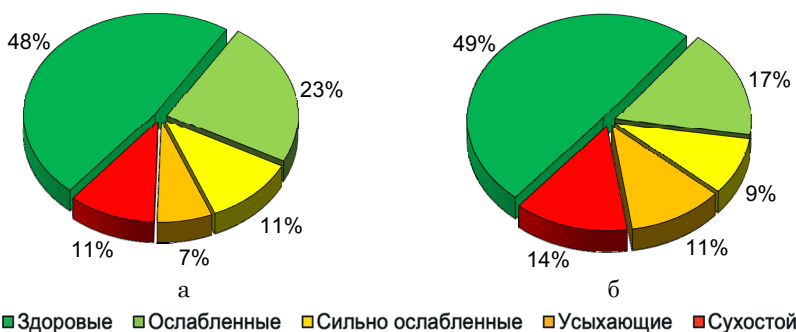


Рис. 4. Распределение деревьев по категориям состояния:
а) липа мелколистная; б) лиственница сибирская

Fig. 4. Distribution of trees by categories of the condition:
a) small-leaved linden, b) Siberian larch

распада парковых посадок. В ближайшие десятилетия исторический облик парка может быть утрачен. Культурный ландшафт является элементом историко-культурного наследия страны, поэтому сохранению национального ландшафта должно уделяться особое внимание [6, 9].

Для предотвращения дальнейшего разрушения древесных насаждений и сохранения объекта садово-паркового строительства XIX в. Необходимы хозяйственные мероприятия, которые могут быть проведены в несколько этапов. На первом из них рекомендуются обустройство дорожно-тропиночной сети, уборка сухостоя и поваленных деревьев, захламленности и бытового мусора. Второй этап предполагает реконструкцию аллей с посадкой на месте выпавших деревьев новых растений липы и лиственницы. На заключительном этапе возможны установка информационных аншлагов и указателей, улучшение травянистого покрова путем посадки цветочных растений из ассортимента местной флоры и часто встречающихся в дворянских усадебных парках Костромской губернии. Визуальное решение концепции реконструкции парка представлено на рисунке 5.



Рис. 5. Визуализация центральной аллеи парка

Fig. 5. Visualization of the central alley of the park

Список использованных источников

1. Касаткина С.В. Дворянская усадьба как центр хозяйственной и культурной жизни провинции в 1861-1917 годах (на примере усадеб Костромской губернии): Автореф. дис. ... канд. ист. наук. Иваново: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал, 2016. 20 с.
2. Белянкина Н.А. Загородные усадьбы Костромской губернии конца XVIII – начала XX веков: Автореф. дис. ... канд. архитектуры. Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. 24 с.
3. Шевченко Н.Ю. Русская провинциальная усадьба в общественном сознании рубежа XIX-XX вв. // Научные

В настоящее время усадебный парк относится к объектам культурного наследия Костромской области. Поэтому необходима реализация мер по обеспечению физической сохранности и сохранению историко-культурной ценности объекта, его приспособлению для современного использования.

С 2021 г. территория усадьбы Н.Н. Григорьева входит в зону сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес», одной из задач которого является содействие экономическому и социальному развитию, устойчивому в социально-культурном и экологическом отношении [10]. Вместе с реконструкцией объекта департаментом культуры Костромской области, отделом культуры, туризма, спорта и молодежи администрации Кологривского муниципального округа, отделом по экологическому просвещению государственного заповедника «Кологривский лес» может быть разработан и реализован туристический маршрут в парке усадьбы Ивановское.

Выводы

Таким образом, изучено современное состояние насаждений парковой части дворянской усадьбы Н.Н. Григорьева (Кологривский муниципальный округ Костромской области). Дана таксационная характеристика парковых насаждений, выявлен ассортимент растений подроста, подлеска и живого напочвенного покрова. Выявлено, что создание парка происходило в два этапа на протяжении XIX в.: на первом этапе был заложен регулярный парк с липовыми аллеями; на втором этапе созданы лиственнично-березовые посадки.

Оценка санитарного состояния насаждений и структуры древесного полога позволила сделать вывод о том, что происходит активный процесс распада парковых посадок. Для сохранения историко-культурной ценности объекта необходимо проведение мероприятий по его реконструкции. Современное использование территории может включать в себя создание и реализацию туристического маршрута.

References

1. Kasatkina S.V. Noble estate as the center of economic and cultural life of the province of 1861-1917 (on the example of the estates of the Kostroma province): autoref. dis. ... candidate of historical sciences: 07.00.02 / Svetlana Vadimovna Kasatkina; FSBEU HPE «Ivanovo State University» Shuya branch. Ivanovo: 2016. 20 p.
2. Belyankina N.A. Country estates of Kostromskoy gubernii in the end of XVIII – beginning of XX centuries: autoref. dis. ... candidate of architecture: 18.00.01 / Belyankina Natalia Aleksandrovna; Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. Nizhny Novgorod, 2008. – 24 p.

ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». 2010. № 1(72). Вып. 13. С. 158-162.

4. Костромская усадьба / Т.В. Йенсен, И.Ю. Кондратьева, Д.Б. Ойнас, А.И. Сорокин. Кострома: Издательский дом Линия график, 2005. 597 с.

5. Рудченко В.М. Памятники архитектуры Костромской области: Каталог. Вып. V. Кологривский район. Межевской район. Нейский район. Мантуровский район / Г.К. Смирнов, П.Н. Шармин, Е.Г. Шеболева. Кострома, 2003. 280 с.

6. Леонова В.А., Куликова А.И., Тарасова Л.А. Состояние природных ландшафтов крестьянской усадьбы в деревне Асташово Костромской области, перспективы их развития // Лесной вестник – Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 5. С. 74-84. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-74-84.

7. Попова А.А. Современное состояние насаждений и пространственная структура парковой части усадьбы А.Н. Крафта (г. Королёв) // Лесной вестник – Forestry Bulletin. 2019. Т. 23, № 3. С. 52-63. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-52-63.

8. Дубенок Н.Н., Кузмичев В.В., Лебедев А.В. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2018. № 1(37). С. 54-71. DOI 10.15350/2306-2827.2018.1.54.

9. Памятники архитектуры Костромской области: Каталог. Вып. VI. Чухлома. Чухломский район / В.М. Рудченко, Г.К. Смирнов, П.Н. Шармин, Е.Г. Шеболева. Кострома, 2004. 248 с.

10. Сиротина М.В. О новом биосферном резервате «Кологривский лес» / Мурадова Л.В., Чернявин П.В., Чистяков С.А. и др. // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: Мат-лы II Всероссийской (с междунар. участием) конф., приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», Кологрив, 28-29 октября 2021 г. Кологрив: Государственный заповедник «Кологривский лес», 2021. С. 8-13.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 13.11.2022

Одобрена после рецензирования 18.12.2022

Принята к публикации 18.12.2022

3. Shevchenko N.Yu. Russian provincial estate in the public conscience at the turn of XIX-XX centuries. / N.Yu. Shevchenko // Scientific bulletin of BelGU. Ser. History. Political science. Economics. Informatics. 2010. No 1 (72), Issue P. 158-162.

4. Kostromskaya estate / T.V. Yensen I.Yu. Kondratjeva, D.B. Ojnas, A.I. Sorokin. Kostroma: Publishing house Liniya grafik, 2005. 597 p.

5. Rudchenko V.M. Monuments of Architecture of the Kostroma Region. Catalog. Issue V. Kologrivsky district. Mezhevskoy district. Neysky district. Manturovsky district / G.K. Smirnov, P.N. Sharmin, E.G. Shcheboleva. Kostroma, 2003. 280 p.

6. Leonova V.A., Kulikova A.I., Tarasova L.A. The state of natural landscapes of the peasant estate in the village of Astashovo of the Kostroma region and the prospects for their development // Lesnoy vestnik – Forestry Bulletin. 2021. Volume 25, No. 5. P. 74-84. – DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-74-84.

7. Popova A.A. The modern state of plantations and spatial structure of the park part of the A.N. Kraft estate (town Korolev) // Lesnoy vestnik – Forestry Bulletin. 2019. Vol. 23, No 3. P. 52-63. – DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-52-63.

8. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Growth and productivity of pine and larch tree stands in the conditions of the urban environment // Bulletin of Povolzhskoy state technological university. Series: Forest. Ecology. Nature management. 2018. № 1(37). P. 54-71. – DOI 10.15350/2306-2827.2018.1.54.

9. Architectural monuments of the Kostroma region. Catalog. Issue VI. Chukhloma. Chukhloma district / V.M. Rudchenko, G.K. Smirnov, P.N. Sharmin, E.G. Shcheboleva. Kostroma: 2004. 248 p.

10. Sirotina M.V. About the new biosphere reserve «Kologrivsky forest» / L.V. Muradova, P.V. Chernyavin, S.A. Chistyakov and others. The contribution of specially protected natural areas to the environmental sustainability of the regions: Current state and prospects: materials of the II All-Russian (with international participation) conference dedicated to the 15th anniversary of the creation of the Kologrivsky Forest Reserve, Kologriv, October 28-29, 2021. P. 8-13.

Criteria of authorship

Lebedev A.V., Kochnev Ya.V. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflict of interests.

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 13.11.2022

Approved after reviewing 18.12.2022

Accepted for publication 18.12.2022

Оригинальная статья

УДК 581.54

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-131-135



СОХРАНЕНИЕ КЛОНА ДЕРЕВА ЗАКХЕЯ (*FICUS SYCOMORUS* L.) В СТАВРОПОЛЬСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ

Волкова Валентина Валентиновна, старший научный сотрудник

ORCIDID:0000-0002-7958-2941; lotos026@mail.ru

Кожевников Владимир Иванович, канд. с.-хоз. наук, доцент,

директор филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Ставропольский ботанический сад

ORCID ID:0009-0002-9924-2538; sbs@fnac.center

Щегринцев Наталья Викторовна, канд. с.-хоз. наук, старший научный сотрудник

ORCID ID: 0009-0004-8343-7423; aster22@list.ru

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр; 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск,
ул. Никонова, 49, Россия

Аннотация. Целью исследований является сохранение растения-клона смоковницы Закхея в условиях оранжереи Ставропольского ботанического сада. Современная изменившаяся экологическая ситуация и большая антропогенная нагрузка привели к плачевному состоянию растения. Для его сохранения перед действующими членами ИППО (Императорское православное палестинское общество) и российскими учеными была поставлена задача сохранения и размножения *Ficussycomorus* L. Был определен возраст *Ficussycomorus*, составляющий около 2000 лет. Растение нуждается в специальных лечебных и профилактических мероприятиях по его дальнейшему сохранению. Проведены агротехнические мероприятия, направленные на активизацию у смоковницы ростовых процессов. Для сохранения вечнозеленое двухлетнее растение смоковницы Закхея передано в Ставропольский ботанический сад имени В.В. Скрипчинского 2016 г. В качестве объекта выступал клон *Ficussycomorus* L. Фенологические наблюдения проводились по общепринятой методике. Растение содержится в оранжерее Ставропольского ботанического сада со средней годовой температурой воздуха +24,3°C. Наиболее высокие средние дневные температуры воздуха, более +27...30°C, наблюдаются с мая по август, самые низкие – в октябре, ноябре (+16...21°C). За период 2016-2022 гг. смоковница увеличила свои размеры с 30 до 82 см, количество боковых стволо-веток увеличилось с 3 до 20 шт. Отличительными особенностями растения являются замедление роста в осенне-зимний период, частичное опадание листьев и уменьшение их длины (на дереве остается около 10% листовой массы), но постоянно образуются сиконии независимо от длины светового дня.

Ключевые слова: смоковница, фенология, условия, тропики, оранжерея, клон, растение

Формат цитирования: Волкова В.В., Кожевников В.И., Щегринцев Н.В. Сохранение клона дерева Закхея (*Ficussycomorus* L.) в Ставропольском ботаническом саду // Природообустройство.2023. № 2. С. 131-135. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-131-135.

© Волкова В.В., Кожевников В.И., Щегринцев Н.В., 2023

Original article

PRESERVATION OF THE CLONE OF THE ZACCHAEUS TREE (*FICUS SYCOMORUS* L.) IN THE STAVROPOL BOTANICAL GARDEN

Volkova Valentina Valentinovna, senior researcher

ORCIDID: 0000-0002-7958-2941; otos026@mail.ru

Kozhevnikov Vladimir Ivanovich, candidate of agricultural sciences, associate professor, branch manager of Stavropol Botanical Garden – Branch of Federal scientific institution «North-Caucasian FNAC»

ORCID ID: 0009-0002-9924-2538; sbs@fnac.center

Shchegrinets Natalia Viktorovna, candidate of agricultural sciences, senior researcher

ORCID ID: 0009-0004-8343-7423; e-mail: aster22@list.ru.

North Caucasus Federal Agricultural Research Center. Russia, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky district, Mikhailovsk, Nikonov str., 49.

Annotation. The purpose of the study is to preserve the plant-clone of the Fig tree *Zacchaeus* in the greenhouse of the Stavropol Botanical Garden. The current changed ecological situation and a large

anthropogenic load have led to the deplorable state of the plant. To preserve it, the current members of the IOPS (Imperial Orthodox Palestine Society) and Russian scientists were tasked with preserving and reproducing *Ficussycomorus* L. The age of *Ficussycomorus* was determined – about 2000 years, the plant needs special therapeutic and preventive measures for its further preservation. Agrotechnical measures aimed at activating growth processes in the fig tree were carried out. For preservation, the evergreen biennial fig tree plant *Zacchaeus* was transferred to the Stavropol Botanical Garden named after V.V. Skripchinsky in 2016. The object was a clone of *Ficussycomorus* L. Phenological observations were carried out according to the generally accepted method. The plant is kept in the greenhouse of the Stavropol Botanical Garden with an average annual air temperature of plus 24.3°C. The highest average daily air temperatures of more than plus 27 to 30°C are observed from May to August, the lowest – in October, November plus 16 ... 21°C. For the period 2016-2022 it increased its size from 30 cm to 82 cm, the number of lateral trunk branches from 3 to 20 pcs. A distinctive feature of the plant is a slowdown in growth in the autumn-winter period, partial fall of leaves and a decrease in their length (about 10% of the leaf mass remains on the tree), but syconia are constantly formed, regardless of the length of daylight hours.

Keywords: *ficussycomorus*, phenology, conditions, tropics, greenhouse, clone, plant

Format of citation: Volkova V.V., Kozhevnikov V.I., Shchegrinets N.V. Preservation of the clone of the *Zacchaeus* (*ficussycomorus* l.) in the Stavropol botanical garden // *Prirodoobustrojstvo*. 2023. No. 2. S. 131-135. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-131-135.

Введение. На денежные средства русских благотворителей в 1886 г. был приобретен участок земли общей площадью 1,1 гас растением на нем *Ficussycomorus* L., возраст которого насчитывает более 2000 лет [1]. Затем он был передан основанному в 1882 г. Императорскому православному палестинскому обществу (ИППО). Основной деятельностью ИППО остается научная работа в области истории, археологии и филологических знаний [2, 3].

В 2008 г. ИППО было инициировано проведение дендрологической экспертизы смоковницы, произрастающей в Сергиевском подворье Иерихона. Доктором биологических наук Ю.Н. Карпун (директор Субтропического ботанического сада Кубани, ведущий научный сотрудник Всероссийского НИИ цветоводства и субтропических культур РАСХН) проведена дендрологическая экспертиза насаждений на участке. Определено, что возраст *Ficussycomorus* L. составляет около 2000 лет. В биологическом плане это многовершинное дерево с укороченным стволом и вечнозелеными овально-ромбическими листьями.

Детальное обследование смоковницы академиком Р.И.М. Куликовым доктором биологических наук Ю.Н. Карпуном установило, что высота ствола-ксия составляет около 3 м при среднем диаметре 260 см; в нижней части – несколько мощных контрфорсов, отчетливо видны характерные бугристые оплывания; в стадии формирования находится приземное сквозное дупло, наместились границы разделения единого ствола-ксия на будущие отдельные стволы [4]. Установлено, что состояние растения

не вполне удовлетворительное, хотя периодическое отмирание какой-то части стволо-веток является нормой у старых сикомор, а их массовое отмирание в данном случае вызвано изменившейся экологической ситуацией и антропогенной нагрузкой. В то же время имеется достаточное количество замещающих стволо-веток, которые со временем сформируют обновленную крону. Составлены рекомендации специальных лечебных и профилактических мероприятий по дальнейшему сохранению растения.

Для продления жизни растения была создана рабочая группа под руководством члена ИППО М.В. Одинцова. Комплекс мероприятий был утвержден председателем ИППО С.В. Степашным [5]. Проведены агротехнические мероприятия, направленные на активизацию у смоковницы ростовых процессов.

И.М. Куликовым была высказана идея поиска родственной замены старому дереву, которая могла бы взять на себя роль символа евангельской истории. Такое дерево было найдено по соседству с деревом Закхея. Возраст его составляет 500 лет, предположительно оно является потомством смоковницы Закхея.

В апреле 2009 г. совместными усилиями сотрудников ВНИИЦиСК и заповедника «Анакопия» была проведена запланированная санация смоковниц и взяты черенки из крон растений. Молекулярный анализ подтвердил идентичность геномов этих двух деревьев [6, 7].

Учеными ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии разработан способ размножения смоковницы Закхея (патент РФ № 2498560 «Способ размножения смоковницы *Ficussycomorus* L.»)

для возможности выращивания клонов, которые предполагалось передавать в различные обитатели Святой Земли, а в России – в качестве кадочных экземпляров [8]. В Субтропическом ботаническом саду Кубани растения высажены в «смесь Принстонского университета» (равнообъемная смесь крупнозернистого песка и верхового торфа). В Ставропольский ботанический сад растение-клон было передано в октябре 2016 г.

Целью исследований является сохранение растения-клона смоковницы Закхей в условиях оранжереи Ставропольского ботанического сада.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследований выступал клон *Ficussycomorus* L. Фенологические наблюдения проводились по общепринятой методике [9, 10]. Интенсивность освещения измерялась с помощью люксметра (оборудование ЦКП СБС). Оранжерея отапливается с октября по апрель. Растение посажено в подготовленную земляную смесь, которая состоит из двух частей перегнойной земли, одной части мелких камней ракушечника и одной части речного песка. Весной-летом вносится комплексное удобрение (аммофоска) каждые 30 дней в количестве 10 г на 10 кг грунта. Для предотвращения хлороза 1 раз в 3 мес. растение поливается хелатом железа (FeO).

Результаты и их обсуждение. 15 октября 2016 г. в Ставропольском ботаническом саду при содействии Императорского православного палестинского общества, Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства, Субтропического ботанического сада Кубани появился в возрасте двух лет один из клонов *Ficussycomorus* L. высотой 30 см с тремя стволо-ветками (рис. 1-3).

Растение было посажено в контейнер объемом 25 л в предварительно подготовленную земляную смесь. В течение 2017-2022 гг. растение содержится в оранжерее Ставропольского ботанического

сада (СБС) со средней годовой температурой воздуха +24,3°C. Наиболее высокие средние дневные температуры воздуха (более +27...30°C) наблюдаются с мая по август, самые низкие – в октябре, ноябре (+16...21°C).

Из графика (рис. 4) следует, что температурный режим оранжереи приближен



Рис. 1. Передача растения в ботанический сад

Fig. 1. Transfer of the plant to the botanical garden



Рис. 2. Акт передачи растения

Fig. 2. Plant transfer certificate



Рис. 3. Патент на изобретение

Fig. 3. Invention patent

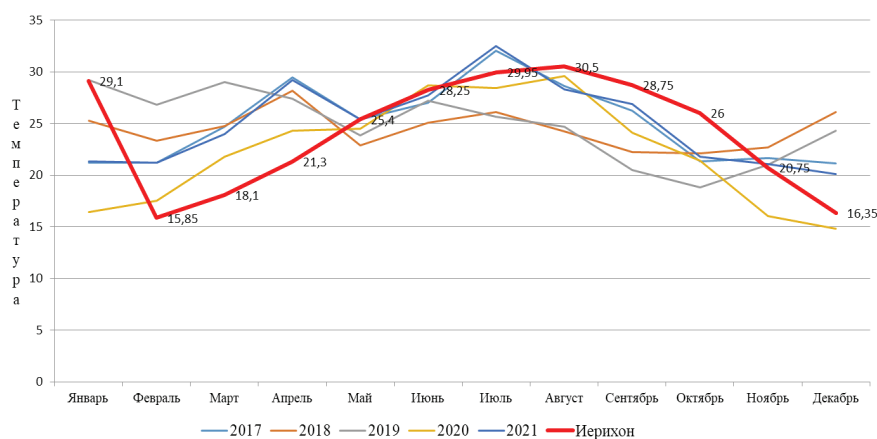


Рис. 4. Температура в оранжерее СБС и в Иерихоне

Fig. 4. Temperature in the SBG greenhouse and in Jericho

к природным показателям Иерихона. Интенсивность освещения в оранжерее варьировала в осенне-зимние месяцы от $9,2 \times 10^3$ до $14,1 \times 10^3$ кЛк, в весенне-летний период – от $15,56 \times 10^3$ до $93,5 \times 10^3$ кЛк.

В 2017 г. произошло отмирание одной стволо-ветки растения. Произведена его перевалка в 35-литровый контейнер, и прирост растения составил 10 см. С октября в 2018 г. началось регулярное образование сиконий, что привело к замедлению роста растения (рис. 5). На коротких нижних ветках образовалось 26 сиконий зеленого цвета диаметром $25,4 \pm 0,2$ мм, и по мере созревания они приобретали светло-бежевый цвет. В дальнейшем формирование сиконий происходило каждые 2 мес.

Для увеличения роста и развития растения нами было принято решение об удалении образующихся сиконий. В 2019 г. Была произведена его перевалка в 45-литровый контейнер. В дальнейшем, до 2020 г., ежегодный прирост растения составлял 10-12 см.

Весной 2020 г. произошло отмирание второй стволо-ветки, увеличилась высота растения до 100 см, отросли 9 боковых веток длиной от 4 до 35 см. Средняя длина листа достигала $15,3 \pm 0,3$ см, что ниже природных показателей (около 20 см).

Отличительными особенностями растения являются замедление роста в осенне-зимний

период, опадание и уменьшение размеров новых листьев: на дереве остается около 10% листовой массы, но постоянно образуются сиконии независимо от длины светового дня (рис. 6-9).

Весной 2021 г. произошло отмирание верхней части центральной стволо-ветки, а длина боковых стволо-веток увеличилась до 45 см. В 2022 г. высота растения составила 82 см, количество боковых стволо-веток – 20 шт. длиной от 3 до 47 см, длина листа – $9,4 \pm 0,3$ см (рис. 10-13).



Рис. 8, 9. Состояние растения на апрель 2020 г.
Fig. 8, 9. Plant condition as of April 2020



Рис. 5. Начало образования сиконий (2018 г.)
Fig. 5. The beginning of the formation of syconia (2018)



Рис. 10, 11. Состояние растения на июль 2022 г.
Fig. 10, 11. Plant condition as of July 2022



Рис. 6, 7. Состояние растения на январь 2020 г.
Fig. 6, 7. Plant condition as of January 2020



Рис. 12, 13. Плодоношение в июле 2022 г.
Fig. 12, 13. Fruiting in July 2022

Выводы

1. Растение-клон *Ficussycomorus* L. сохранен, в условиях оранжереи Ставропольского ботанического сада состояние его является удовлетворительным.

2. За время исследований с 2016 по 2022 гг. растение увеличило свои размеры в 3 раза (с 30 до 82 см), увеличилось количество боковых стволо-веток (с 3 до 20 шт.). Средняя длина листьев составила

от 10 до 15 см, что несколько ниже природных показателей (20 см).

3. Ежегодно, с 2018 г., отмечаются фазы цветения и плодоношения. Отличительными особенностями растения являются замедление роста в осенне-зимний период, частичное опадание и уменьшение размеров новых листьев: на дереве остается около 10% листовых пластинок, но постоянно образуются сиконии независимо от длины светового дня.

Список использованных источников

1. Грудзинская И.А. Семейство Тутовые (*Moraceae*) // Жизнь растений Т. 5 (1) / Под ред. А.Л. Тахтаджяна. М.: Просвещение, 1980. С. 274-275.
2. Куликов И.М., Карпун Ю.Н. Смоковница Закхея в Иерихоне. Прошлое, настоящее и будущее // Садоводство и виноградарство. 2010. № 2. С. 45-48.
3. Карпун Ю.Н. Субтропическая декоративная дендрология: Справочник. СПб.: Изд-во ВВМ, 2010. 582 с.
4. Карпун Ю.Н. Священные смоковницы // Декоративное садоводство России. 2009. Т. 1. С. 66-71.
5. Куликов И.М., Упадышев М.Т. Идентификация родственных связей Смоковницы Закхея посредством молекулярного анализа // Садоводство и виноградарство. 2014. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ippo.ru/uploads/%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0-1-2014> (дата обращения: 01.07.2022).
6. Mihretie Z., Dagne K. Chromosome numbers of some indigenous tree species of Ethiopia // Ethiopian J. Biol. Sciences. 2013. Vol. 12, № 1. Pp. 41-49.
7. В рамках проекта ИППО Кубанскому ботаническому саду переданы потомки дерева Закхея из Иерихона // Сайт ИППО. URL: <https://www.ippo.ru/science/article/v-ramkah-proekta-ippo-kubanskomu-botanicheskomu-sa-101343> (дата обращения: 07.07.2022).
8. Базилевская Н.А. Теории и методы интродукции растений. М., 1964. 82 с.
9. Способ размножения смоковницы *Ficussycomorus* L. Пат. 2498560 Российская Федерация. № 2012122531/ Алексеев Л.В., Высоцкий В.А., Куликов И.М. Заяв. 01.06.2012; опубл. 20.11.2013. Бюл. № 32.
10. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюллетень ГБС АН СССР. М., 1979. № 113. С. 3-11.

Критерии авторства

Волкова В. В., Козhevnikov В.И., Шчегринетс Н.В. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 03.02.2023

Одобрена после рецензирования 18.05.2023

Принята к публикации 18.05.2023

References

1. Grudzinskaya I.A. Mulberry family (*Moraceae*) // Plant life. Edited by A.L. Takhtajyan. Vol. 5 (1). M.: Prosveshchenie. 1980. P. 274-275.
2. Kulikov I.M., Karpun Yu.N. The fig tree of Zaccchaeus in Jericho. Past, present and future. // Horticulture and viticulture. 2010. № 2. P. 45-48.
3. Karpun Yu.N. Subtropical decorative dendrology. St. Petersburg: VVM Publishing House. 2010. 582 p.
4. Karpun Yu.N. Sacred fig trees. // Ornamental gardening in Russia. 2009. V. 1. P. 66-71.
5. Kulikov I.M., Upadyshev M.T. [electronic resource] Identification of family ties of the Zaccchaeus fig tree by means of molecular analysis // Horticulture and viticulture. 2014. № 1. URL: <https://www.ippo.ru/uploads/%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0-1-2014> (accessed 01.07.2022).
6. Mihretie Z., Dagne K. Chromosome numbers of some indigenous tree species of Ethiopia // Ethiopian J. Biol. Sciences, 2013. Vol. 12, № 1. P. 41-49.
7. As part of the IOPS project, the descendants of the Zaccchaeus tree from Jericho were transferred to the Kuban Botanical Garden [electronic resource]. // IOPS website. URL: <https://www.ippo.ru/science/article/v-ramkah-proekta-ippo-kubanskomu-botanicheskomu-sa-101343> (accessed 07.07.2022).
8. Bazilevskaya N.A. Theories and methods of plant introduction. M.: 1964. 82 p.
9. Method of propagation of the fig tree *Ficus sycomorus* L.: Pat. 2498560 Ros. Federation № 2012122531 / Alekseenko L.V., Vysotsky V.A., Kulikov I.M.; dec. 06/01/2012. publ. 11/20/2013. bul. № 32.
10. Methods of phenological observations in the botanical gardens of the USSR // Bull. GBS AS USSR. M.: 1979. № 113. P. 3-11.

Criteria of authorship

Volkova V.V., Kozhevnikov V.I., Shchegrinets N.V. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Volkova V.V., Kozhevnikov V.I., Shchegrinets N.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 03.02.2023

Approved after reviewing 18.05.2023

Accepted for publication 18.05.2023

Общие требования к изданию

Принимается ранее не опубликованное автором произведение – научная статья, практическая или обзорная статья, научная рецензия и отзыв в следующие **рубрики журнала**:

2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки)

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация. (сельскохозяйственные науки)

Все принятые статьи проходят процедуру обязательного рецензирования

Выбор рецензента осуществляет Редакционный совет

Структура статьи

Индекс УДК (слева).

ФИО автора(ов): инициалы, фамилия автора(ов).

Полное название представляемой организации (вуза), в которой они работают.

Название статьи без сокращений.

Аннотация статьи на русском и английском языках: рекомендуемый объем 150...250 слов (не более 2000 символов); необходимо осветить цель исследования, методы, результаты (желательно с приведением количественных данных), четко сформулировать выводы.

Ключевые слова на русском и английском языках: рекомендуемый объем от 5 до 10 слов или словосочетаний.

Автоматизированный перевод с помощью программных систем запрещается!

Текст статьи, с включенным иллюстративным материалом (таблицы, рисунки) **излагать структурировано**:

- введение;
- материал и методы;
- результаты и обсуждение;
- выводы (заключение);
- библиографический список.

Библиографический список должен быть составлен в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Количество источников не менее 10.

Сведения об авторах. Полностью указывается фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание автора(ов) и название организации, в которой они работают, телефон, электронный адрес.

Требования к оформлению статьи

• **Текстовый редактор** – Microsoft Word.

• **Шрифт** – Times New Roman (**Размер шрифта** – 14 пт).

• **Межстрочный интервал** – 1,5.

• **Ориентация** – книжная, без простановки страниц, без переносов, желательно без постраничных сносок.

• **Набор формул.** Использовать редактор формул Math Type 5.x (и выше), либо Equation 3.0, шрифт Times New Roman, размер 11 пт, выравнивание по левому краю без абзацного отступа. Для удобства при верстке длина формулы не должна превышать 8 см. Нумеровать только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Суммарное число формул – не более 10. Экспликация к формулам набирается шрифтом Times New Roman, размер 14 пт, одним абзацем, но без абзацного отступа, выравнивание по ширине страницы.

• **Рисунки** выполнять на компьютере в виде отдельного файла: в растровых форматах TIFF, JPG с разрешением не менее 300 dpi; в векторных форматах CDR, DWG, EPS. Выполнение рисунка средствами Microsoft Word допускается для схем.

• **Фотографии** выполнять с разрешением не менее 300 dpi.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

При приеме статьи автор подписывает согласие на передачу Редакции периодического издания «Природообустройство» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) прав на издание и распространение статьи без ограничения срока, района распространения журнала и без выплаты вознаграждения.

Отрицательная рецензия, а также несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

Прием статей

По вопросам публикации статей обращаться по телефону: 8 (499) 976-36-67.

E-mail: prirodamgup@mail.ru

<https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/izdaniia/nauchnyi-zhurnal-prirodoobustroistvo>