



Учредители:

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,
НП «Союз водников и мелиораторов»,
ФГБНУ ВНИИ «Радуга», АНО «Редакция журнала
«Мелиорация и водное хозяйство»

Издается с апреля 1949 года

СОДЕРЖАНИЕ

СТРАНИЦА РЕДАКТОРА

Гулюк Г.Г. История дренажа 2

Кондратенко А.А., Хасанов Р.Х. Мелиорация
Ставрополя сегодня. 5

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ: ЗАПАСЫ И КАЧЕСТВО

Толкачев Г.Ю., Ильина Т.А., Абакумова Н.В.,
Родькина И.А. Содержание и распределение
тяжелых металлов в донных отложениях
плесов Иваньковского водохранилища 7

МЕЛИОРАЦИЯ И УРОЖАЙ

Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В.,
Ильченко К.Ю. Особенности формирования
саженцев малины при капельном орошении
Центрального Нечерноземья. 12

Сычев В.Г., Шевченко В.А., Тютюма Н.В.,
Зайцева Н.А. Продуктивность ярового ячменя
при орошении в условиях Северного Прикаспия . . 18

МЕЛИОРАЦИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Моторин А.С. Почвенно-климатические
условия Крайнего Севера как среда
выращивания многолетних трав
для биологической рекультивации. 23

ОСУШЕНИЕ

Штыков В.И., Пономарев А.Б., Янко Ю.Г.
Надежность бесполостного дренажа 28

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Шкура В.Н., Шевченко А.В. Назначение
и компоновочно-конструктивное решение
Багаевского гидроузла. 34

ИНФОРМАЦИЯ

Юрию Михайловичу Косиченко – 75 лет 39

Памяти Никандра Степановича Клюкина 40

CONTENTS

EDITOR'S PAGE

Guliuk G.G. History of drainages 2

Kondratenko A.A., Khasanov R.Kh. Reclamation of
the Stavropol territory today 5

WATER RESOURCES: RESERVES AND QUALITY

Tolkachev G. Yu., Ilina T.A., Abakumova N.V.,
Rodkina I.A. The content and distribution of heavy
metals in the bottom sediments of the Ivankovo
reservoir ples. 7

MELIORATION AND HARVEST

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V.,
Ilchenko K. Yu. Features of the formation of
raspberry seedlings under drip irrigation of the
Central Non-Chernozem Region 12

Sychev V.G., Shevchenko V.A., Tyutyuma N.V.,
Zaytseva N.A. Productivity of spring barley during
irrigation in the conditions of the Northern
Caspian Sea 18

MELIORATION: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Motorin A.S. Soil and climatic conditions of the
Far North as an environment for growing perennial
grasses for biological reclamation 23

DRAINAGE

Shtykov V.I., Ponomarev A.B., Yanko Yu.G.
The reliability of pipeless drainage 28

WATER MANAGEMENT PROBLEMS

Shkura V.N., Shevchenko A.V. Purpose and layout
and design solution of the Bagaevsky waterworks. 34

INFORMATION

Iu.M. Kosichenko – 75 years 39

In memory of N.S. Kliukin 40

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-61128 от 03.04.2015.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на сои-
скание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), пол-
ные тексты статей доступны на сайте <https://elibrary.ru>.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 1000 экз.
Верстка Т.Б. Самсонова

Адрес редакции: 127550, Москва, Б. Академическая, д. 44, корп. 2.
Тел./факс (499) 976-02-71. E-mail: mivh@mail.ru, <http://mivh.vniigim.ru>

Главный редактор Г.Г. ГУЛЮК

Редакционный совет:

М.В. БОРОВОЙ, М.В. ГЛИСТИН, Н.К. ДОЛГУШКИН, Н.Н. ДУБЕНОК,
Д.В. КОЗЛОВ, А.В. КОЛГАНОВ, И.П. КРУЖИЛИН, А.П. ЛИХАЦЕВИЧ,
Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ, В.В. МЕЛИХОВ, С.Г. МИТИН, П.А. МИХЕЕВ,
В.И. ОЛЬГАРЕНКО, Г.В. ОЛЬГАРЕНКО, Н.Н. СОЛОДЧУК, Д.В. СОРОКИН,
Т.Г. СТЕПАНОВА, В.И. ТРУХАЧЁВ, М.М. ХИСМАТУЛЛИН, В.А. ШЕВЧЕНКО,
В.Н. ЩЕДРИН, В.П. ЯКУШЕВ, С.В. ЯХНЮК

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

УДК 626.86

ИСТОРИЯ ДРЕНАЖА



Г.Г. ГУЛЮК

Уважаемые мелиораторы России!

Многим мелиораторам и руководителям всех уровней управления мелиорацией будет открытием то, что с давних пор подробные описания осушения земель в Великом Новгороде в XII в., в Архангельске в конце XVI...XVIII вв., в Москве на болотах вдоль рек Москвы, Неглинной, Яузы и Пресни, в XVII в. в Николо-Пешношском монастыре у реки Яхромы, в Московской губернии в XVIII в. и т. д. Широко применялось осушение при строительстве Санкт-Петербурга, который, по словам А.С. Пушкина: «Из тьмы лесов, из топи блат вознесся пышно, горделиво».

Гидротехнические сооружения в России также строились с древнейших времен. Об этом свидетельствуют упоминания в летописях и находки археологов, в частности, остатки деревянного водопровода и дренажных устройств в XI в., обнаруженные уже при раскопках древнего Новгорода.

В XII в. построен водопровод из деревянных труб для снабжения водой Кремля. Тогда же построены комплексы прудов под Москвой и в дворцовых селах Воздвиженском, Измайловском, Петровско-Разумовском и других. При Петре I осуществлялось крупное гидротехническое строительство. Построены каналы в Санкт-Петербурге: Ладожский обводнительный канал, Кронштадтский, судоходный канал для соединения верховья рек Тверцы и Мсты близ Вышнего Волочка (предназначенный для соединения бассейна р. Волги с Балтийским морем). Была предпринята попытка соединения Дона с Волгой: построен Ивановский канал, который соединил Дон через реки Шат, Уну и Оку с Волгой.

Многие века основным приемом мелиорации земель была расчистка от леса и кустарника. Крестьянам, осваивающим земли из-под леса (называли эти земли «суки», «сырые корни»), предоставлялись льготы. Такие воспоминания приходилось слышать из уст председателя райисполкома Борисово-Судского района Вологодской области и воочию наблюдать выжигание лесных зарослей в Лаосе во время поездки руководителем специалистов агропромышленного комплекса Нечерноземной зоны по изучению производства кофе.

Российские ученые отправлялись в Англию для совершенствования в науках по химии, геоло-

гии, истории и др., из ученых России был направлен в Англию С.Е. Десницкий в 1790 г. Он опубликовал перевод книги «Наставление земледельческое или краткое английское хлебопашское показание» с практическим освещением осушения земель в Англии, которое было главенствующим английским опытом в России до появления знаменитой «Селезской инструкции по осушению болот». Научные основы современного земледелия и земельных улучшений заложены Андреем Тимофеевичем Болотовым (1733–1833 гг.).

Вот как относится к этим проблемам один из последних действительных ученых России Борис Степанович Маслов. Постепенно отечественная мелиорация и обслуживающая ее мелиоративная наука заняли передовые позиции в мире. Много сделано по улучшению земель, но многое еще предстоит. Как и всякая отрасль человеческой деятельности, мелиорация развивалась, преодолевала трудности понимания, порою к ней примазывались из-за корыстных соображений все возможные «жучки» и нувориши.

О людях, творцах мелиорации, об ученых, сказавших о ней доброе слово, повторяемо говорил Б.С. Маслов. Не забывал он и негативные деяния, особенно проявившиеся в советское время. Проработав в мелиорации почти полвека, он утверждал, что нет более интересной, захватывающей и полезной науки, чем мелиорация.

Расширение сельскохозяйственного фонда за счет преобразования болот, пустыни, затопленных земель и захламления кустарником пустошей в плодородные нивы, повышение продуктивности существующих сельскохозяйственных угодий – вот основные цели труда мелиораторов. Любовь к земле, активная роль в подъеме сельского хозяйства, чувство законной гордости за выращенный на обновленных его руками землях высокий урожай, радость и гордость за расцвет родных мест вместе с чувством ответственности за результаты работы руководят делами и мыслями мелиораторов. Это основа жизни истинного мелиоратора.

В одном из номеров журнала «Мелиорация и водное хозяйство» редакция объявила конкурс познания первопроходцев устройства дренажа, как школы преобразования болот в плодородные почвы. Конкурс не состоялся, о чем я очень сожалею. Мое предположение о бесчувственном отношении

к наукообразованным производителям повышения плодородия земли-матушки. Бездушное отношение к прогрессивным технологиям мелиорации земель.

В передовых технологиях во многих странах мира без дренажных технологий не строится не один гектар орошаемых земель.

Итак, к сожалению, вынужден вернуться к этим прогрессивным технологиям. Еще в 1854–1856 гг. строились экспериментальные осушительные системы, в том числе с применением закрытого трубчатого дренажа. Несколько молодых ученых были направлены в эти годы для изучения опыта осушения и освоения земель в Англию, Бельгию для ознакомления с опытом орошения.

Первый дренаж в России построен в Курляндской губернии (современная Латвия). Владелец имения Пунно (Сталсецкий уезд) купил в Англии в 1849 г. (по другим данным в 1851 г.) пресс и начал выпуск гончарных труб, а в следующем году построил дренаж на пашне. В 1852 г. заложен дренаж на 7 га пашни в имении Лустес (Елгавский уезд). Барон Фиркс с помощью труб построил дренаж в арендованном имении Альт-Шварден.

На территории современной Латвии осушено гончарным дренажем 283 га. Дренаж закладывали только на пашне, глубина дрен 1,2...1,5 м, расстояние между ними около 9 м.

Дренажи строились в Лифляндии и Эстляндии в 20 км от Таллина по тартуской дороге. Но главное, что через 105 лет этот дренаж раскопали (1953 г.). Уложенные дрены из круглых гончарных труб диаметром 42 мм, длиной 305 м перекрывались половинками кирпича, были выведены в закрытый коллектор, выполненный, в свою очередь, из труб диаметром 72 мм. Дрены уже в те времена подсоединялись к коллектору гончарными тройниками, глубина коллектора составляла 1...1,2 м, дрен 0,96...1,08 м. Коллектор выведен в исток открытого канала с помощью деревянной трубы 2 м и диаметром 220...250 мм, в которой высверлено отверстие диаметром 120 мм. Характерно, что на осушенных землях урожай ржи вырос на 36 % по зерну и на 100 % по соломе.

Более чем за 100 лет дрены заилились лишь частично в местах резкого снижения уклонов. Из-за смены хозяев система была забыта, не ремонтировалась с 1905 г., канал не реконструировался, устьевая труба сгнила, вода из нее выбивалась наружу в виде родника. Удивительными были работы по строительству дренажа в Белорусском Полесье. Запроектированный дренаж имел следующие параметры: коллекторы строились на глубинах 1,2...1,5 м, дрены 0,9...1 м соединялись путем устройства отверстия в траншеи.

Обучаясь мелиоративному делу в г. Горки Могилевской области Белорусской ССР, был ознакомлен с так называемым первым дренажем на учебной ферме Горы-Горецкого земледельческого института (на массиве «Огородные земли» работы были начаты в 1853 г. агрономом А.Н. Козловским, впоследствии профессором. Для изготовления труб снаружи использовался «невесть где добытый» старый пресс 1854 г. А.Н. Козловский был командирован для изучения зарубежного опыта в Бельгию. В следующем году в институте построили кирпичный завод с тем же прессом для труб. Лишь в 1857 г. из Лондона был получен новый паровой пресс Клейтона для изготовления дренажных труб.

Обучение воспитанников и посетителей института дренажному делу получило обширное развитие в 1856 г. На «огородных землях» было построено пять дренажных систем общей протяженностью более 3 км, выведенных в р. Копылку. Параметры дренажа: глубина заложения дрен 1,2 м, коллекторов 1,4 м, расстояние между дренами 8,5 м, диаметр дрен 25 мм, коллекторов 50...75 мм. Трубы были соединены полумуфтами, обложены мхом и засыпаны щебнем, засыпка утрамбовывалась.

На болотах (мощность торфа 1,1...1,3 м) были построены две системы тоже с отводом стока в р. Копылку. В неустойчивых грунтах дно траншей укрепляли щебнем и гравием, стыки обкладывали мхом и щебнем, дрены укладывали в 2 нитки с перевязью на глубине 0,6...2 м и расстоянием между ними 21...24 м, устье коллекторов устраивали из дробленых деревянных труб, укрепленных на сваях и кирпичной кладке. Строили смотровые колодцы и перепады из кирпича. Всего в Горках было осушено 5,8 га мохового болота. На осушенных торфах высаживали капусту, получали сено. После дренирования доход увеличился в денежном выражении в 1,46 раз. В 2 раза вырос в 1859 г. урожай сена (Козловский А.Н., 1860 г.).

В 1855–1860 гг. для ознакомления с инженерным искусством в сельском хозяйстве за границу командирована группа инженеров и агрономов. По возвращению агроном А.Н. Козловский впервые в Гор-Горецком институте начал читать студентам курс лекций дренажа.

Всего в Горы-Горецкой академии в 1857–1863 гг. осушено закрытым дренажем 103 га огородов, полей и лугов, на дренажных системах организованы наблюдения за уровнем грунтовых вод, объемом и химическим составом дренажных вод. Стоимость дренажа составила 55...59 рублей серебром за 1 га.

В нашем столетии (через 60 и 100 лет) дренаж был дважды раскопан и описан. В 1922 г. отдельные дренажные устья и крышки колодцев оказались

в хорошей сохранности. Некоторые дрены глубиной 0,9 м при междренном расстоянии 21 м в торфе обеспечивали необходимую норму осушения 0,5 м для трав. Многие дрены были чисты, устья коллекторов заилены некоторые выходы коллекторов превратились в родники (Дубах, 1924 г.). Раскопки еще через 40 лет показали, что дренажные трубы хорошо сохранились, но дрены заилены песком (менее заилены в торфе), коллекторы сохранились и продолжали работать. Вода из бывших устьев (трубы сгнили) выбивала ключами (Клиперт, 1932 г.).

Из работы Горы-Горечко института нельзя не отметить также выполненные в 1859 г. осушения болотных блюдцев и блюдцеобразной котловины (понижений), множество которых встречается на пересеченном рельефе Могилевской, Витебской и смежных областей. Для осушения трех котловин общей площадью 0,9 га устраивали поглощающий колодец (стенки пористые, присыпаны щебнем) и выводили из него часто проложенные дрены. Вода из колодца отводилась за пределы поля одиночной дрены. Стоимость осушения этим способом составила (вместе с каналами предварительного осушения) 183 рубля серебром.

Дренаж в России (Новгородская губерния).

У истоков закрытого дренажа в России мы встречаем крупного ученого – ботаника и агронома Николая Ивановича Железнова (1816–1877 гг.). Его научные интересы включали растениеводство, садоводство, сельскохозяйственную метеорологию, мелиорацию, архитектуру.

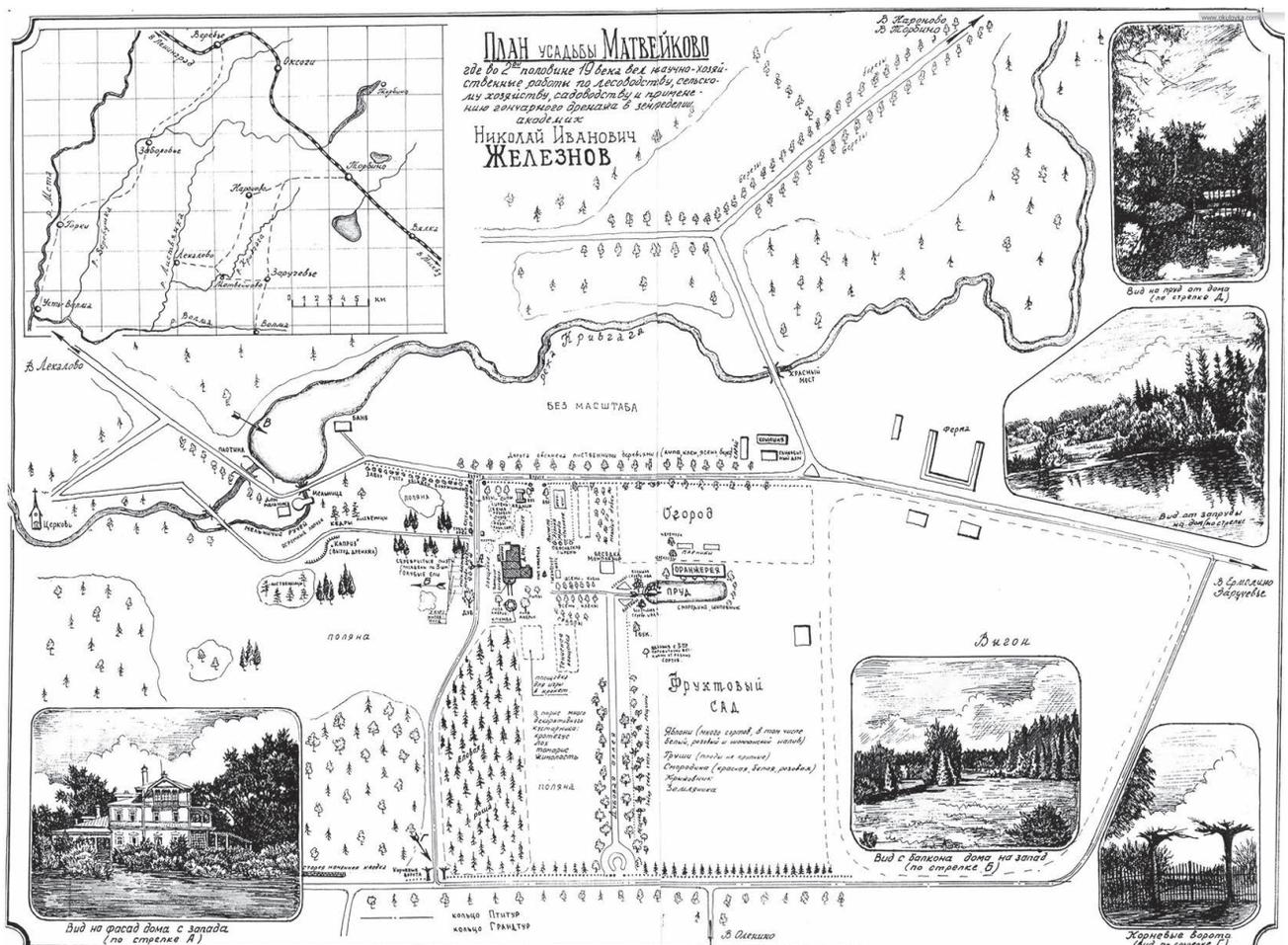
Доктор философии с 1842 г., академик Петербургской Академии наук с 1857 г., первый президент российского общества садоводства с 1858 г., первый директор Петровской земледельческой академии (ныне РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) в 1861–1969 гг. Н.И. Железнов целиком посвятил свою

работу закрытому дренажу.

Летом 1854 г. в имении жены Нароново Крестецкого уезда Новгородской губернии (ныне Окулевский район Новгородской области) Н.И. Железнов установил гончарный пресс для изготовления керамических дренажных труб, полученный из Англии.



Н.И. Железнов



План усадьбы

Маленький заводик обеспечивал потребности его имени, а также осушения земель в с. Александровском под г. С.-Петербург в 1954–1856 гг. Дрены были уложены на глубине 1,2...2,4 м с интервалом 8,5...11,3 м, а также оставлен контрольный участок без дренажа. Дренажную воду, пропущенную через фильтр, использовали для домашнего водопровода.

На дренированном участке в 1856 г. овес вызрел на 12 дней раньше, а урожай был на 12 % выше,

чем на контроле. На следующий год урожай стал больше в 4 раза. В 1958 г. в докладе на заседании Н.И. Железнов обосновал тезис: «Без осушения в северных губерниях России нельзя заниматься земледелием».

Так была заложена основа строительства дренажа в России.

Гулюк Георгий Григорьевич, доктор с.-х. наук, главный редактор (Журнал «Мелиорация и водное хозяйство»).

УДК 631.6

МЕЛИОРАЦИЯ СТАВРОПОЛЬЯ СЕГОДНЯ



А.А. КОНДРАТЕНКО, Р.Х. ХАСАНОВ

С давних времен, а в XX в. особенно, Ставрополье зарекомендовало себя как регион интенсивного орошаемого земледелия в России. Его ирригационный фонд достигал 435 тыс. га. По эффективному использованию мелиорируемых земель край занимал одно из ведущих мест в стране.

Орошаемое поле Ставрополя использовалось в основном для выращивания грубых и сочных кормов животным. Для пропитания шестимиллионного поголовья овец и полуторамиллионного стада крупного рогатого скота и другой живности 65...73 % кормов от общего потребления заготавливалось на поливных плантациях. Кроме того, на мелиоративных землях культивировались зерновые, технические, овощные культуры, а также фрукты, виноград, ягоды.

Каждый поливной гектар работал за 2,5...3 богарных гектара и служил гарантом получения высоких урожаев при любых погодных условиях.

Был создан на высоком инженерно-техническом уровне мощный водохозяйственный мелиоративный комплекс. Рукотворные реки-каналы голубыми линиями расчертили карту края. Воды Терека и Кубани пришли вглубь засушливых территорий региона. Исполнилась вековая мечта сельских тружеников. Так было.

Кардинальные изменения произошли в мелиорации и водном хозяйстве после тяжелых разрушительных 90-х годов двадцатого столетия. Ров-

но наполовину стало меньше орошаемых земель в крае — 213,8 тыс. га, которые требуют капитального ремонта.

Сегодня в обществе созидательный настрой. Строительство орошаемых земель на Ставрополье — задача, которая обозначена руководством края и поддержана Правительством России, как приоритетная. С этой целью ежегодно в рамках госпрограммы «Развитие сельского хозяйства» реализуются проекты орошения с государственной поддержкой. Например, в 2022 г. на эти цели было предусмотрено 898,6 млн руб., в том числе из федерального бюджета 879,7 млн руб. и из краевого бюджета 18,9 млн руб. Указанные финансовые вливания позволили увеличить площадь орошаемых земель на 8,6 тыс. га. В 2021 г. построено 6,3 тыс. га.

Для получения господдержки в 2023 г. на строительство поливных площадей подано 23 обоснованных заявки от товаропроизводителей сельхозпродукции. При их утверждении и реализации прибавка новых участков орошения составит не менее 15 тыс. га.

Аграрии и мелиораторы края берут на вооружение самые современные методы полива — высокопроизводительную дождевальную технику. Главное преимущество механизированного орошения состоит в высоком качестве полива, малых потерях оросительной воды и автоматизации процесса. Сегодня держится ориентир на отечественное поливное оборудование.

Известно, что строительство новых современных площадей орошения — высокзатратное дело. Но, как показала многолетняя практика, финансовые затраты в мелиоративном строительстве быстро окупаются в течение 3...4 лет.

Это возможно за счет высоких гарантированных урожаев сельхозкультур на поливе.

В таблице наглядно показана эффективность поливного земледелия.

Показатели использования поливных земель в Ставропольском крае за 2022 г.

Культуры	Урожайность, ц/га		Площадь полива, тыс. га
	Без орошения	На орошение	
Пшеница	25...40	80...120	19,5
Кукуруза на зерно	40...55	90...150	9,8
Подсолнечник	15...20	25...40	4,3
Соя	12...15	30...35	1,5
Рапс	14...18	30...40	3,5
Луговые травы	50...60	180...200	16,5
Бахчевые	60...80	120...145	0,3
Овощи открытого грунта	87...119	370...417	2,7
Картофель	86...100	392...419	3,0

Особенно успешно используют поливные площади сельхозпредприятия Красногвардейского, Ипатовского, Изобильненского, Курского округов.

Водохозяйственный мелиоративный комплекс Ставропольского края – это более 3 тыс. км магистральных и межхозяйственных каналов с одновременным забором воды из источников свыше 300 м³/с, и более тысячи различных армированных гидротехнических сооружений. Имеется 15 крупных наливных водохранилищ с общей полезной емкостью 2 млрд м³. Это 5 крупных мелиоративных насосных станций, около 20 км гидротехнических тоннелей и 30 км металлических дюкеров.

Чтобы поддерживать в технически исправном режиме это огромное и сложное «хозяйство» работники управления «Ставропольмелиоводхоз» ежедневно проводят ремонтно-восстановительные и эксплуатационные работы. Например, в 2022 г. очищено от заиления и наносов 133,5 км каналов, отремонтировано 143 гидротехнических сооружений различного назначения, все насосные станции и другие объекты. Значительно повысилась технологическая дисциплина при эксплуатации водохозяйственного комплекса. Он стал функционировать надежнее. Организацию подачи воды потребителям наладили четко, строго по заявкам и утвержденному плану (договору).

Это позволило работникам орошаемого земледелия охватить вегетационными поливами 61,2 тыс. га сельхозугодий.

Претензий по работе гидрокомплекса в адрес ФГБУ «Ставропольмелиоводхоз» в течение 2021–2022 гг. не поступало.

Мелиоратор на Ставрополье – это надежный партнер и активный помощник аграриям в деле высокоэффективного использования орошаемых земель. Так всегда было. Так есть. Так будет!

В настоящий момент в зоне влияния «Ставропольмелиоводхоза» находится реконструкция

четырёх водных объектов: Новотроицкого водохранилища, Невинномысского канала, насосной станции «Междуречье Кубань-Егорлык», сооружения водохозяйственных систем БСК, продолжается строительство Большого Ставропольского канала (4-я очередь). Общий объем капитальных вложений 1,964 млрд руб.

Инженерно-технические работники Управления «Ставропольмелиоводхоз» наладили надлежащий контроль за работой по реконструкции и строительству вышеуказанных водных объектов.

Тандем строители–эксплуатационники дает неплохие результаты. Повысилось качество строительно-монтажных работ, проектное исполнение и сократились сроки реконструкции. В перспективе совместная деловая работа будет совершенствоваться, углубляться, и станет нормой взаимоотношений.

Водохозяйственный мелиоративный комплекс Ставрополя заметно стареет. К слову сказать, основные водные артерии – каналы: Невинномысский, Малка-Кура, Сухопадинский, Право-Егорлыкский с левой ветвью и многие другие – работают уже более 75 лет. Естественно, значительно уменьшилась их эксплуатационная надежность.

Сохранить, технически укрепить и усовершенствовать до уровня современных требований гидрокомплекс – задача архиважная и ее решение безотлагательно. Ведь он является основой устойчивого развития сельхозпроизводства, водоснабжения свыше 1,5 млн жителей края, надежного функционирования гидроэнергетики региона, обводнение огромных территорий северо-восточных районов. Главенствующую роль играют рукотворные водные артерии в поддержании экологического равновесия в маловодной, пересыхающей речной сети. И, конечно же, для наполнения 15 крупных водохранилищ общей емкостью 2 млрд м³.

Располагая земельными и водными ресурсами, кадровым обеспечением и строительной индустрией Ставропольский край потенциально может реально иметь 1 млн га мелиоративных площадей. Это диктуется жизненной необходимостью в условиях засушливого климата в регионе.

Альтернативы мелиорации на Ставрополье нет.

Кондратенко Александр Андреевич, заслуженный мелиоратор РФ, академик МАЭП; Хасанов Руслан Хасанович, директор («Управление «Ставропольмелиоводхоз»).

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПЛЕСОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА



Г. Ю. ТОЛКАЧЁВ, Т. А. ИЛЬИНА, Н. В. АБАКУМОВА, И. А. РОДЬКИНА

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, загрязнение, подвижные формы, игео-класс, сорбирующая фракция, водохранилище.

Keywords: sediments, heavy metals, pollution, mobile forms, sorption fraction, i-geo class, reservoir.

В настоящее время состояние водных объектов под воздействием техногенных факторов изменяется, как правило, в худшую сторону. Исследования донных отложений водоемов позволяют установить неблагоприятные участки и определить источники загрязнения. С точки зрения техногенной нагрузки наиболее опасными загрязняющими веществами являются микроэлементы Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn, As. В работе приведена оценка донных отложений различных районов Иваньковского водохранилища. Определено содержание подвижных форм существования следующих микроэлементов: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni и As. Приведены результаты исследований загрязненности донных отложений суммарными концентрациями подвижных форм микроэлементов, оцененных по игео-классам — по загрязненности сорбирующей фракции (менее 0,02 мм). Основными загрязняющими элементами являются кадмий и свинец, по которым уровень загрязнения оценивается от слабо до умеренно загрязненного. Представлена картина как загрязнения донных отложений Иваньковского водохранилища микроэлементами, так и распределения и соотношения их подвижных форм существования в искомым отложениях. Из полученных данных можно сделать вывод, что, несмотря на значительное количество источников загрязнения, загрязненность донных отложений опасности не представляет.

Currently, the state of water bodies under the influence of technogenic factors is changing, as a rule, for the worse. Studies of the sediments of reservoirs make it possible to identify unfavorable areas and determine the sources of pollution. From the point of view of technogenic pressure, the most dangerous pollutants are trace elements Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn, As. The paper presents an assessment of sediments in various areas of the Ivan'kovo reservoir. The content of mobile forms of existence of the following microelements was determined: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni and As. The results of studies of the contamination of bottom sediments by the total concentrations of

mobile forms of microelements, estimated by i-geo classes — by the contamination of the sorbing fraction (less than 0.02 mm) are presented. The main contaminants are cadmium and lead, which are estimated to be slightly to moderately polluted. A picture is presented of both contamination of the bottom sediments of the

Ivan'kovo reservoir with microelements, and the distribution and correlation of their mobile forms of existence in the desired sediments. From the data obtained, it can be concluded that, despite a significant number of pollution sources, at present there is no need to talk about a dangerous load on the studied objects.

Введение. Регулирование речного стока водохранилищами приводит к существенному изменению водного, гидрохимического и гидробиологического режимов не только зарегулированных рек, но и их притоков. При создании водохранилищ устанавливается новый круговорот веществ в единой системе «водные массы — донные отложения». При этом донные отложения (ДО) водохранилищ играют двоякую роль, являясь одновременно аккумулятором элементов и их соединений и источником вторичного загрязнения воды. Показатели загрязненности ДО позволяют установить наиболее неблагоприятные в экологическом отношении участки и скорректировать состав и объем гидрохимического и гидробиологического мониторинга. Многообразие природных и техногенных факторов, совокупность которых и определяет особенности этого круговорота, создает значительные трудности при его экспериментальном изучении. Особенно это касается изучения круговорота тяжелых металлов (ТМ), существующих в природных водах и ДО в различных химических формах. Доминирование тех или иных процессов зависит, главным образом, от географического положения водного объекта, его гидрологического режима, особенностей химического состава вод, биопродуктивности, почвенного и растительного покрова водосборной территории, характера антропогенной нагрузки [1]. Проблема загрязнения ДО Иваньковского водохранилища в связи с возрастающей техногенной нагрузкой на его водосборную площадь и ухудшением качества воды, подаваемой в «канал им. Москвы», на протяжении

последних десятилетий сохраняет актуальность. В работе приведена оценка загрязнения ДО водохранилища следующими ТМ и микроэлементами: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, As, а также Se и Sb.

Валовое содержание ТМ является важным показателем, однако оно еще не определяет опасность токсических эффектов при вторичном загрязнении водных масс. Большинство исследований, посвященных частицам металлов в природных водных системах (т. е. металлам, связанным с взвешенными веществами или донными отложениями), касаются общей концентрации металлов. Процессы образования форм металлов и их распределение в настоящий момент изучены недостаточно. Концептуально твердый материал может быть разделен на определенные фракции, которые могут быть извлечены избирательно с использованием соответствующих реагентов.

Объекты и методы исследования. Ивановское водохранилище образовано в 1937 г. в результате перекрытия русла р. Волги у села Иваново плотинной гидроэлектростанции, предназначено для регулирования стока р. Волги и водоснабжения Москвы. Протяженность водного пути от г. Тверь до г. Дубна – 115 км, площадь водохранилища – 327 км², площадь водосбора – 4100 км² [2].

Отбор ДО производился отборником грейферного типа из приповерхностного слоя – 5...15 см. Пункты отбора проб представлены в табл. 1. Все изученные образцы состоят из близких по минеральному составу компонентов, что позволяет считать результаты оценки сопоставимыми. Отложения весом до 500 г помещались в широкогорлую пластиковую посуду, тщательно перемешивались и упаковывались

в различные пакеты. Основное требование контроля качества проб – это исключение их загрязнения до начала химанализов. Для упаковки проб использовались полиэтиленовые пищевые пакеты. Далее в лабораторных условиях выделялась мокрым просеиванием «сорбирующая фракция» размером менее 0,02 мм. Она практически полностью состоит из высокодисперсных глинистых минералов, оксидов Fe и Mn, органического вещества, обладающих максимальными сорбционными свойствами [3].

Аккумуляция ТМ в ДО оценивалась по индексу геоаккумуляции [4], который характеризует относительную кратность загрязнения ДО (относительно природного фона) во фракциях грунта <0,02 мм: $I\text{-geo},n = \log_2(C_n/1,5B_n)$, где C_n – измеренная концентрация элемента n в донных отложениях (фракция менее 20 мкм); B_n – геохимическая фоновая концентрация элемента n по А.П. Виноградову [5] или К. Тюрекиану и К. Видеполу [6].

На основании этого уравнения ДО подразделяются на классы качества по каждому ТМ и As. Выражение $C_n/1,5B_n$ представляет собой коэффициент накопления, где фоновое значение дается с определенным запасом [7].

При определении распределения микроэлементов особое внимание уделялось выбору фракций, на которые могут повлиять различные условия окружающей среды; выбраны четыре экстракции и использовался метод А. Тессье [8]. Использование последовательных экстракций требует значительного времени, но дает детальную информацию о происхождении, способе появления, биологической и физико-химической доступности, мобилизации и транспорте микроэлементов.

Экстракция 1 – микроэлементы в обменном комплексе. Адсорбция микроэлементов на их основных компонентах ДО (глинах, гидратированных оксидах железа и марганца, гуминовых кислот); изменения ионного состава воды в водных объектах влияют на процессы сорбции-десорбции.

Экстракция 2 – микроэлементы, связанные с карбонатами. Значительные концентрации металлов могут быть связаны с карбонатами осадка; эта фракция очень восприимчива к изменениям pH.

Экстракция 3 – ТМ, связанные с оксидами железа и марганца. Оксиды железа и марганца существуют в виде конкреций, цементных образований между частицами или просто в виде покрытия на частицах. Они являются поглотителями микроэлементов и термодинамически нестабильны в анаэробных условиях – при низком Eh.

Экстракция 4 – ТМ, связанные с органическим веществом ДО. ТМ связаны с различными формами органического вещества: живыми организмами,

Таблица 1

Расположение точек отбора проб на Ивановском водохранилище

Точка отбора	Место отбора
33	Волжский плес, д. Мелково, напротив авто-моста
34	Волжский плес, д. Плоски, фарватер
37	Шошинский плес, между автомастами, фарватер
35	Волжский плес, с. Городня, левый берег напротив церкви
40	Иваньковский плес, ур. Корчева, 1 км выше о. Грабиловка, 100 м от правого берега
41	Иваньковский плес, створ о. Клиницы – о. Уходово, 300 м от о. Уходово
45	Иваньковский плес, фарватер напротив Коровинского залива
48	Иваньковский плес, вход в канал им. Москвы

детритом, покрытиями на минеральных частицах. В условиях окисления в природных водах органическое вещество может разлагаться, что приводит к выделению растворимых микроэлементов.

Методика приготвления экстрагирующих растворов [8]

Экстракция 1. Навеску 0,5 г осадка экстрагировали при комнатной температуре 5 мл раствора хлорида магния (1 М MgCl, pH 7) в течение 1 ч при непрерывном перемешивании.

Экстракция 2. Остаток из 1-й экстракции выщелачивали при комнатной температуре 5 мл 1 М NaOAc, доведенного до pH 5 уксусной кислотой (HOAc) при непрерывном перемешивании.

Экстракция 3. Остаток микроэлементов после 2-й экстракции удаляли 10 мл смешанного раствора: 0,3 М Na₂S₂O₄ + 0,175 М Na-цитрата + 0,025 М H-цитрата. Экстракция проводилась при 96 ± 3 °С с периодическим перемешиванием.

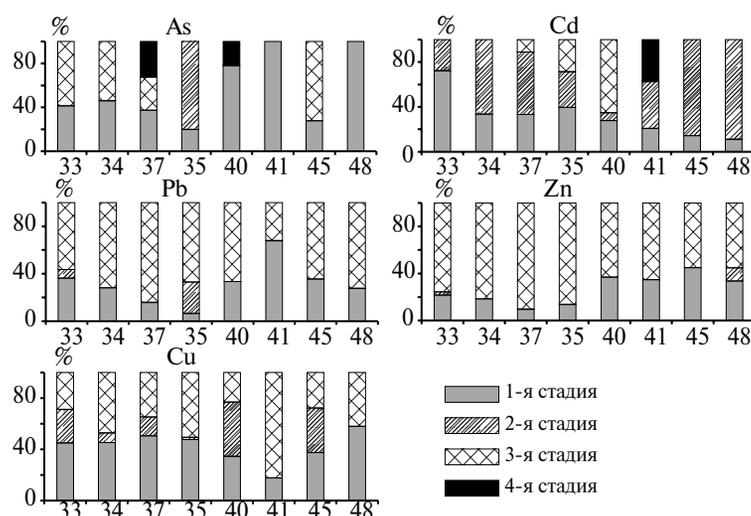
Экстракция 4. К остатку из 3-й экстракции добавлены 3 мл 0,02 М HNO₃ и 5 мл 30%-го H₂O₂, доведенных до pH 2 азотной кислотой (всего объем раствора 10 мл), смесь нагревали до 85 ± 2 °С в течение 2 ч с периодическим перемешиванием. Затем добавляли вторую 3 мл аликвоту 30% раствора H₂O₂, (доведенного до pH 2 добавлением HNO₃) и образец, снова нагревали до 65 ± 2 °С в течение 3 ч при периодическом перемешивании. После охлаждения добавляли 5 мл 3,2 М NH₄OAc в 20%-й HNO₃, разбавляли пробу до 20 мл и непрерывно перемешивали в течение 30 мин. Добавление NH₄OAc предназначено для предотвращения адсорбции извлеченных микроэлементов на окисленный осадок.

Определение концентраций микроэлементов в растворе проводилось на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-Z.ЭТА-Т (НПО «КОРТЭК», г. Москва). Атомно-абсорбционный спектрометр КВАНТ-Z.ЭТА-Т определяет концентрации элементов в анализируемой пробе по селективному поглощению излучения резонансных спектральных линий определяемого элемента атомным паром анализируемой пробы [9]. При использовании адсорбера диапазон линейности концентраций большинства исследованных элементов и аналитического сигнала наблюдается в интервале от 0 до 100 мг/мл. Для этого пробы из пробирок Эппельдорфа разводились дозаторами фирмы «Ленпипет», объемом 100...1000 мкл, до концентрации, находящейся в пределах чувствительности прибора. Стандартная ошибка разведения 2%. Стандартная

ошибка прибора составила 0,3...5% [10]. Определения каждой концентрации растворов производились в 3-кратной повторности.

Обсуждение результатов. Распределение содержания исследуемых микроэлементов по формам существования, или подвижным формам, в изученных районах водохранилища приведено в табл. 2. Также на рисунке отображено процентное распределение каждого элемента в подвижных формах, что в свою очередь наглядно отображает соотношение данных форм и дает возможность оценить зависимость их распределения от района исследуемого объекта.

Как видно из диаграмм, одна из основных форм As – сорбированная в обменном комплексе, как правило, в ДО Ивановского плеса. В ДО Волжского и Шошинского плесов, а также в районе Коровинского залива значительная часть As сорбирована на гидроксидах Fe и Mn. В головной части Ивановского водохранилища, в районе с. Городня, подавляющая часть As (80%) представлена формой, сорбированной на карбонатах, что может в частности объясняться активным смывом почв с левого берега с их последующим отложением. Что касается Cd, его «обменная» составляющая снижается вниз по течению, от начала к концу водохранилища, в то же время «карбонатная» форма в районе дамбы становится преобладающей. В районе урочища (ур.) Корчева более 60% Cd находится в «гидроксидной» форме, что может объясняться болотистыми берегами с как следствие привносом железа. Металлы Pb и Zn связаны в основном с «гидроксидной» формой на большей площади водохранилища. Исключение составляет участок от островов Клиницы и Уходово до Коровинского залива, на котором от 40 до 60% составляет ионо-



Распределение подвижных форм существования микроэлементов в ДО исследуемых районов

Таблица 2

Концентрации микроэлементов по формам существования, мг/кг

Точка отбора	As	Cd	Se	Pb	Zn	Co	Ni	Cu	Cr	Sb
Сорбированные в обменном комплексе										
33	0,6	1	0,012	29,8	14	0,1	23,8	33,8	0,8	1,16
34	1	0,6	0,02	21,8	10	0,08	21,8	35,8	0,5	0,82
37	0,6	0,6	0,012	16	6	0,06	20	41,8	0,1	0,5
35	0,2	1	0,004	6	6	0,02	23,8	51,8	0,7	0,5
40	1	0,8	0,02	24	12	0,08	22	26	0,6	1
41	1,4	0,2	0,028	22	10	0,08	28	22	0,4	0,84
45	0,2	0,2	0,004	14	8	0,04	28	28	0,4	0,66
48	0,4	0,2	0,008	12	6	0,04	23,8	49,8	0,4	0,5
Сорбированные на карбонатах										
33	—	0,38	0,002	6	1,8	1,68	39,6	19,8	—	—
34	—	1,18	—	—	—	1,02	43,8	6	—	—
37	—	1	—	—	—	0,04	41,8	12,2	—	—
35	0,8	0,8	0,03	23,8	—	1,48	44	2	—	—
40	—	0,2	0,014	—	—	1,02	40	32	—	—
41	—	0,4	—	—	—	0,72	49,6	—	—	—
45	—	1,2	0,002	—	—	0,76	34,2	26,2	—	—
48	—	1,6	—	—	2	0,36	37,8	—	—	—
Сорбированные на гидроксидах железа и марганца										
33	0,84	—	0,022	46,4	48,6	0,28	1	21,6	4,04	1,9
34	1,16	—	0,034	55,6	43,8	0,78	—	37,2	3,54	1,74
37	0,48	0,2	0,016	84,8	55,2	2,42	11,4	28,8	4,5	2,4
35	—	0,72	—	60,2	37,2	0,76	0,6	55	2,54	1,56
40	—	1,88	—	47,8	20,4	0,7	—	17,4	1,82	0,54
41	—	—	—	10,4	18,8	—	—	102,4	1,76	0,52
45	0,52	—	0,012	25,4	9,8	0,38	—	20,8	0,94	0,22
48	—	—	—	31	9,8	0,68	2,8	36	0,94	0,34
Сорбированные на органическом веществе										
33	—	—	0,008	—	—	—	—	—	—	—
34	—	—	0,026	—	—	—	—	—	—	—
37	0,52	—	0,052	—	—	—	—	—	—	—
35	—	—	0,018	—	—	—	—	—	—	—
40	0,28	—	0,03	—	—	—	—	—	—	—
41	—	0,36	0,036	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	—	—	0,08	—	—	—	—	—	—	—

ликом практически находится в наиболее доступной фазе, наиболее подверженной распаду с последующим выходом (иммобилизацией) металла в водную массу при изменении гидрохимической обстановки.

Содержание Cu в большинстве исследованных районов также находится в основном в «обменной» и «карбонатной» формах, и порядка 30...40 % — в «гидроксидной», и только в районе острова Уходово «гидроксидная» форма составляет 80 % всей суммы подвижных соединений. Также на гидроксидах железа и марганца сорбировано большинство (70...90 %) содержания подвижного Cr.

Для оценки потенциального вторичного загрязнения рассчитаны суммы подвижных соединений микроэлементов, предполагая возможность их полного выхода из донных отложений, и оценить их по системе игео-классов; значения приведены в табл. 3. Наибольший уровень загрязнения ДО отмечен для Cd — 3-й игео-класс в районе с. Городня на входе в водохранилище, и Ивановском плесе в районе ур. Корчева. В других изученных районах суммарное содержание Cd в подвижных формах ДО соответствует 2-му игео-классу. Согласно классификации [4] 3-й игео-класс соответствует средне загрязненному уровню, 2-й игео-класс — умеренно загрязненному уровню. Согласно классификации [3] оба класса соответствуют умеренной (умеренно опасной) техногенной нагрузке. Содержание Pb от с. Городня до ур. Корчева находится на уровне 2-го игео-класса. Далее по течению вплоть до канала им. Москвы содержание Pb снижается до 1-го игео-класса, что соответствует «незагрязненному

обменная форма. Определяющая форма существования в ДО Co и Ni — «карбонатная», составляет до 80...90 % для Co и 50...60 % для Ni. Исключение для Co составляют район Шошинского плеса и вход в канал им. Москвы, где формы, связанные с гидроксидами, составляют 90 % для первого и 60 % для второго. В свою очередь, вторая определяющая форма для Ni — «обменная», таким образом, подвижная фаза Ni це-

Таблица 3

Суммы подвижных форм существования микроэлементов (числитель, мг/кг) и их значения в игео-классах (знаменатель)

Точка отбора	As	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Co	Ni
33	1,44/ф	1,38/2	82,2/2	64,4/ф	75,2/1	4,84/ф	2,06/ф	64,4/ф
34	2,16/ф	1,78/2	77,4/2	53,8/ф	79,0/1	4,04/ф	1,88/ф	65,6/ф
37	1,60/ф	1,80/2	100,8/2	61,2/ф	82,8/1	4,6/ф	2,52/ф	73,2/0
35	1,00/ф	2,52/3	90,0/2	43,2/ф	108,8/1	3,24/ф	2,26/ф	68,4/0
40	1,28/ф	2,88/3	71,8/2	32,4/ф	75,4/1	2,42/ф	1,80/ф	62,0/ф
41	1,40/ф	0,96/2	32,2/1	28,8/ф	124,4/1	2,16/ф	0,80/ф	77,6/0
45	0,72/ф	1,40/2	39,4/1	17,8/ф	75,0/1	1,34/ф	1,18/ф	62,2/ф
48	0,40/ф	1,80/2	43,0/1	17,8/ф	85,8/1	1,34/ф	1,08/ф	64,4/ф

до умеренно загрязненного» уровню загрязнения по [4] и слабой (малоопасной) техногенной нагрузке по [3]. Содержание Си по всей площади водохранилища находится на уровне 1-го иgeo-класса, содержание всех остальных изученных элементов находятся либо в пределах фона, либо не превышают нулевой иgeo-класс – незагрязненный уровень.

В предыдущих исследованиях сделан вывод, что именно изменение содержания ТМ в подвижных формах способствует изменению их валового содержания в ДО [11, 12]. При этом необходимо подчеркнуть, что все подвижные формы существования ТМ в ДО могут участвовать в процессах массопереноса в системе «твердая фаза–поровый раствор–вода», а их содержание зависит от ряда факторов: меняющегося соотношения приходной и расходной составляющих баланса веществ, гидродинамической обстановки в придонном слое, физико-химических условий в верхнем 10-сантиметровом слое ДО. Таким образом, возможный вынос микроэлементов из ДО не будет превышать их суммарные концентрации в подвижных соединениях. Исходя из полученных данных, потенциальный вынос из отложений не является значительным, и о серьезной опасности вторичного загрязнения исследуемыми элементами говорить не приходится.

Выводы

1. Такие элементы как Pb, Zn и Cr по всей площади измерений находятся в основном в форме, связанной с гидроксидами железа и марганца; Co, Cd, Ni, Cr и Cu представлены большей частью в ионообменной и карбонатной формах. Содержание и распределение микроэлементов по формам существования зависит от ряда факторов: меняющегося соотношения приходной и расходной составляющих баланса веществ, гидродинамической обстановки в придонном слое, физико-химических условий в верхнем слое ДО.

2. По результатам исследований наибольшие уровни загрязнения ДО водохранилища отмечены для суммарных концентраций подвижных соединений Cd и Pb, которые, однако, не превышают 2-й иgeo-класс, или «умеренно загрязненный» уровень. Возможный вынос микроэлементов из ДО не будет превышать данные концентрации, поэтому о серьезной опасности вторичного загрязнения исследуемыми элементами говорить не приходится.

3. В настоящее время не выявлены четкие пространственные закономерности распределения микроэлементов по формам существования в ДО водохранилища. Вместе с тем, исходя из полученных данных, можно говорить об отсутствии серьезного поступления исследуемых элементов с водосборной площади.

ЛИТЕРАТУРА

1. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2007.
2. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука, 1987. 296 с.
3. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений / Н.В. Коломийцев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина, Е.Н. Гетьман // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 15–19.
4. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. S. 778–783.
5. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.
6. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. P. 175–192.
7. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 223 с.
8. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // Analytical chemistry. 1979. Vol. 51. No 7. P. 844–851.
9. Спектрометр атомно-адсорбционный КВАНТ-Z.ЭТА-Т». Руководство по эксплуатации. М.: Научно-производственная фирма Кортэк, 2006. 20 с.
10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. 320 с.
11. Толкачев Г.Ю. Тяжелые металлы в системе «вода–донные отложения». Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 98 с.
12. Толкачев Г.Ю., Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И. Содержание и формы существования тяжелых металлов в донных отложениях Ивановского и Угличского водохранилищ // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 4. С. 37–43.

REFERENCES

1. Zakonnov V.V. Sedimentation in reservoirs of the Volga cascade: abstract of the dissertation ... Doctor of Geographical Sciences. M., 2007.
2. Avakian A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Reservoirs and their impact on the environment. M.: Nauka. 1987. 296 p.
3. Assessment of technogenic pressure on water bodies by pollution of sediments / N.V. Kolomiitsev, B.I. Korzhenevskiy, T.A. Il'ina, E.N. Getman // Melioration and water management. 2015. No. 6. P. 15–19.
4. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. S. 778–783.
5. Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered elements in soils. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. 235 p.
6. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. P. 175–192.
7. Modeling of erosion processes in the territory of a small drainage basin / Edited by A.S. Kerzhentsev, R. Meisner. M.: Nauka, 2006. 223 p.
8. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // Analytical chemistry. 1979. Vol. 51. No 7. P. 844–851.
9. Atomic adsorption spectrometer QUANTUM-Z.ETA-T. Operation Manual. M.: Scientific and production company Kortek, 2006. 20 p.
10. Dmitriev E.A. Mathematical statistics in soil science. M.: MSU, 1995. 320 p.
11. Tolkachev G.Yu. Heavy metals in the «water–sediments» system». Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 98 p.
12. Tolkachev G.Yu., Kolomiitsev N.V., Korzhenevskiy B.I. The content and forms of existence of heavy metals in the sediments of the Ivan'kovo and Uglich reservoirs // Melioration and water management. 2017. No. 4. P. 37–43.

Толкачев Глеб Юрьевич, канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник, k-26@yandex.ru; **Ильина Тамара Андреевна**, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, kolomiitsev@vniigim.ru (ФГБНУ ВНИИ-ГИМ им. А.Н. Костякова); **Абакумова Наталия Викторовна**, аспирантка 3-го года обучения, abakumova.nv@mail.ru; **Родкина Ирина Алексеевна**, науч. сотрудник, irina-rodkina2007@yandex.ru, геологический ф-т (МГУ им. М.В. Ломоносова).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ САЖЕНЦЕВ МАЛИНЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ



Н.Н. ДУБЕНОК, А.В. ГЕМОНОВ, А.В. ЛЕБЕДЕВ, К.Ю. ИЛЬЧЕНКО

Ключевые слова: капельное орошение, малина, биометрические показатели, урожайность.

Keywords: drip irrigation, raspberry, biometric showed, yield.

Исследований по капельному орошению малины в условиях московского региона практически не проводилось, в частности, не выявлены закономерности продукционного процесса растений при капельном орошении. В связи с этим целью исследований являлось изучение влияния режимов капельного орошения на формирование саженцев малины в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны России. Исследования проводились в 2020–2022 гг. на землях учебно-опытного хозяйства лаборатории плодородия «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Двухфакторный полевой опыт в качестве первого фактора включал режимы, а в качестве второго – сортовые особенности. В результате исследований выявлено, что капельное орошение способствует экономии поливной воды и созданию оптимального водно-воздушного режима почвы в течение всего вегетационного периода. 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%. Капельное орошение способствует формированию саженцев с наибольшими значениями биометрических показателей (диаметр штамба, высота растений, площадь листовой поверхности и объем, длина, масса корневой системы) и повышению урожайности. Анализ данных опыта о биометрических показателях малины и ее урожайности позволяет рекомендовать в качестве оптимальных режимы орошения с поддержанием влажности корнеобитаемого слоя почвы в диапазоне 70...90% НВ и 80...100% НВ.

Practically no studies on drip irrigation of raspberries in the conditions of the Moscow region have been carried out, in particular, the patterns of the production process of plants under drip irrigation have not been identified. In this regard, the purpose of the research was to study the effect of drip irrigation regimes on the formation of raspberry seedlings in the conditions of soddy-podzolic soils in the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia. The studies were carried out on the lands of the educational and experimental farm of the laboratory of fruit growing «Michurinskiy Sad» of the Russian

State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy in 2020–2022. The two-factor field experience included regimes as the first factor, and varietal characteristics as the second. As a result of the research, it was revealed that drip irrigation contributes to the saving of irrigation water and the creation of an optimal water-air

regime of the soil during the entire growing season. In the variant of drip irrigation with maintaining moisture in the root layer in the range of 80–100% of the lowest moisture capacity, the saving of irrigation water compared to furrow irrigation averaged 65%, and in the variant of 60–80% of the lowest moisture capacity – 78%. Drip irrigation contributes to the formation of seedlings with the highest values of biometric indicators (stem diameter, plant height, leaf surface area and volume, length, mass of the root system) and increase productivity. An analysis of the experimental data on the biometric indicators of raspberries and its yield allows us to recommend irrigation regimes with maintaining the moisture content of the root layer of the soil in the range of 70–90% of the lowest moisture capacity and 80–100% of the lowest moisture capacity as optimal.

Введение. Малина относится к важным плодово-ягодным культурам, возделываемым в России. Основные насаждения малины в России сосредоточены в Западной Сибири, на Урале, в Поволжье, в Центральном и Волго-Вятском экономических районах [9]. Распространение ягодной культуры сдерживается под воздействием таких факторов, как трудоемкость традиционной технологии выращивания, а также восприимчивостью большинства сортов к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды (суровые условия перезимовки, засухи, вредители и болезни), что резко снижает продуктивность. Перспективным направлением в решении этой проблемы является возделывание малины с применением ресурсосберегающих технологий.

При орошении плодовых и ягодных культур большое распространение имеют поверхностный способ полива и дождевание [2, 12]. Эти способы орошения не обеспечивают рациональное использование оросительной воды, а также энергетических, трудовых и других виды ресурсов. В настоящее время все большее распространение получают способы малообъемного орошения, которые позволяют регулировать подачу воды, водный и питательный режимы почвы в соответствии с потребностями растений. Одним из способов экологически безопасного полива является капельное

орошение, которое также позволяет повысить качество и выход продукции сельскохозяйственных и плодовых культур [1, 5, 10, 21, 22]. Исследований по капельному орошению малины в условиях московского региона практически не проводилось, в частности, не выявлены закономерности продукционного процесса растений при капельном орошении. В связи с этим **целью исследований** являлось изучение влияния режимов капельного орошения на формирование саженцев малины в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны России.

Материал и методика исследований. Полевые исследования проводились на базе учебно-опытного хозяйства лаборатории плодородия «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. В целом природно-климатические условия участка исследования являются характерными для Центрального Нечерноземья европейской части России [6]. Двухфакторный полевой опыт заложен осенью 2019 г. на дерново-подзолистой, культурной, грунтово-глеевой, 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 капельного орошения (рис. 1): контроль (без орошения); поддержание влажности в корнеобитаемом слое почвы в диапазоне 60...80 % НВ (наименьшей влагоемкости почвы); 3) 70...90 % НВ; 80...100 % НВ. В 2020 г. глубина увлажнения почвы составляла 30 см, в 2021 г. – 40 см и в 2022 г. – 50 см. Вторым фактором являлись сорта малины «Солнышко» и

«Награда», оба из которых являются рекомендованными для возделывания в Центральном Нечерноземье. Сорт «Солнышко» выведен 1970-е годы на Коккином 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 Государственный реестр.

Посадка саженцев малины произведена с расстоянием между рядами 1 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, общим количеством 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 и в 2022 г. – увеличена до 50 см.

Биометрические параметры растений малины (диаметр штамба, высота, годичный прирост по высоте) определялись по общепринятым методам [13]. Характеристики корневой системы (объем, длина корней, масса) учитывались в конце каждого вегетационного периода путем отбора трех контрольных растений в каждой повторности по вариантам опыта. Масса коневой системы учитывалась в абсолютно сухом состоянии. Биохимический состав плодов малины определялся в лабораторных условиях с применением общепринятых методов [17]. Для обработки эксперимен-

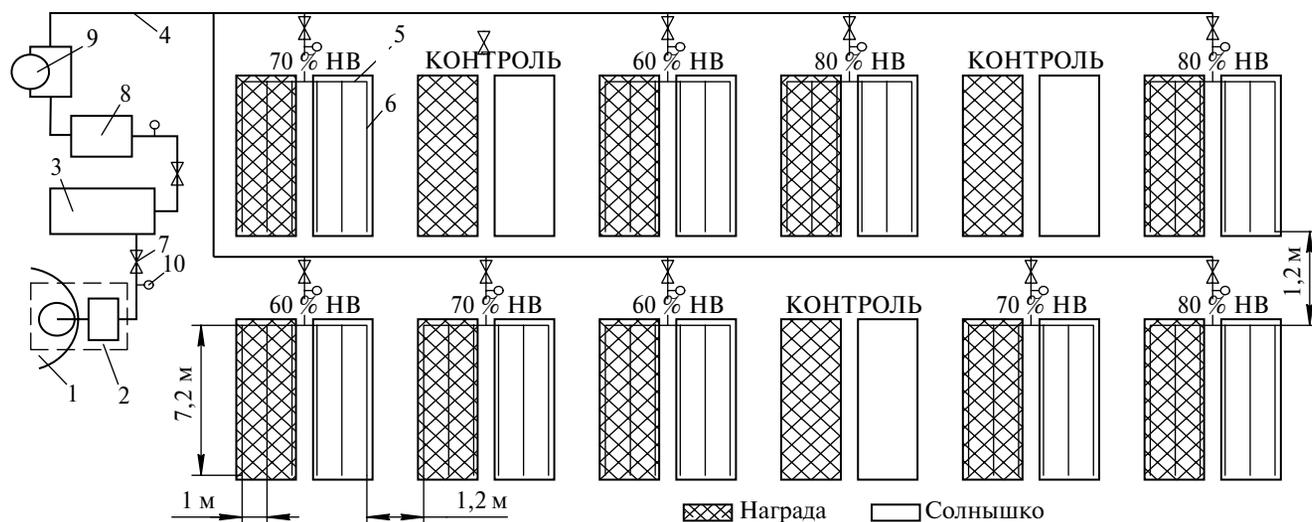


Рис. 1. Схема полевого опыта: 1 – источник воды; 2 – насосная станция; 3 – система фильтров;

4 – магистральный канал; 5 – распределительный трубопровод; 6 – поливной трубопровод с интегрированными капельницами; 7 – краны; 8 – счетчик расхода воды; 9 – контроллер; 10 – манометр

тальных данных применялся дисперсионный анализ с расчетом наименьшей существенной разницы на 5%-м уровне значимости.

Результаты и обсуждение. Характеристика исследуемых режимов капельного орошения малины приведена в табл. 1. Величина оросительной и поливной нормы, число поливов и межполивной период зависят от вариантов опыта и обеспеченности осадками годов исследования. 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) и 80...100 % НВ – 835 м³/га (межполивной период 6 дней). С увеличением величины поддерживаемой влажности в корнеобитаемом слое наблюдается увеличение оросительной и поливной нормы, число проводимых поливов и 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 [16]. 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 на протяжении всего вегетационного периода создается оптимальный водно-воздушный режим почвы.

Диаметр штамба саженцев относится к важным биометрическим показателям, которые позволяют судить о качестве выращиваемых растений. Влияние режима орошения на диаметр штамба саженцев малины показано в табл. 2. Для сорта малины «Награда» по всем вариантам и годам исследований проявляются наибольшие значения диаметра штамба. В конце первого года проведения исследований (2020 г.) проявились различия по вариантам орошения. Наибольшие значения диаметра штамба

наблюдались при поддержании влажности в корнеобитаемом слое почвы 80...100 % НВ: для сорта «Награда» среднее значение 12,1 мм, а для сорта «Солнышко» – 10,3 мм. По отношению к контролю (без орошения) для сорта «Награда» диаметр штамба в среднем больше

Характеристика режимов орошения малины

Показатели	Вариант опыта											
	60...80 % НВ				70...90 % НВ				80...100 % НВ			
	Год исследования											
	2020	2021	2022	Среднее	2020	2021	2022	Среднее	2020	2021	2022	Среднее
Оросительная норма, м ³ /га	598	497	510	535	697	643	624	655	816	819	870	835
Средняя поливная норма, м ³ /га	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	17	12	12	14	19	15	14	16	22	19	20	20
Межполивной период, дни	7	10	10	9	6	7	8	7	5	6	7	6

Таблица 1

Таблица 2

Диаметр штамба саженцев малины по вариантам опыта и годам исследования

Вариант орошения	Сорт	Среднее по варианту, мм		
		2020 г.	2021 г.	2022 г.
Без орошения	Награда	9,0	9,4	9,9
	Солнышко	7,1	7,3	7,8
60...80 % НВ	Награда	10,2	10,4	10,7
	Солнышко	8,1	8,2	8,4
70...90 % НВ	Награда	11,1	11,2	11,4
	Солнышко	9,4	9,7	10,0
80...100 % НВ	Награда	12,1	12,3	12,6
	Солнышко	10,3	10,4	10,7

Примечание. $HC_{P_{0,5}} = 0,35$ для сорта «Награда»; $HC_{P_{0,5}} = 0,16$ для сорта «Солнышко».

Высота саженцев малины по вариантам опыта и годам исследования

Вариант орошения	Сорт	Средняя по варианту, м		
		2020 г.	2021 г.	2022 г.
Без орошения	Награда	131	141	152
	Солнышко	118	127	137
60...80 % НВ	Награда	158	171	183
	Солнышко	137	148	160
70...90 % НВ	Награда	171	185	200
	Солнышко	161	174	187
80...100 % НВ	Награда	192	208	222
	Солнышко	179	193	207

Примечание. $HC_{P_{0,5}} = 7,73$ для сорта «Награда»; $HC_{P_{0,5}} = 4,1$ для сорта «Солнышко».

на 34 % и для сорта «Солнышко» – 45 %. На второй и третий годы исследования данная закономерность сохранилась. В 2022 г. в варианте 80...100 % НВ для сорта «Награда» диаметр штамба в среднем составил 12,6 мм (+27 % к контролю) и для сорта «Солнышко» – 10,7 мм (+37 % к контролю).

Вместе с диаметром штамба одним из важным биометрических показателей является высота саженцев. Усредненные данные по высоте саженцев по вариантам опыта и годам исследования представлены в табл. 3. Наблюдения в конце вегетационных периодов показатели, что наибольшая высота малины достигнута в варианте с поддержанием предполивного порога не ниже 80 % НВ. По сравнению с контролем в этом варианте достигнуты значения на 40...50 % больше, а по сравнению с вариантом поддержания предполивного порога не ниже 60 % – на 20...30 %. Кроме того, на высоту малины оказали влияние сортовые особенности. Так, растения сорта «Награда» в среднем на 5...15 % выше, чем малина сорта «Солнышко».

Средние значения годовых приростов в высоту саженцев малины по вариантам опыта и годам исследования приведены в табл. 4. Наиболее интенсивно прирост по высоте на протяжении первого, второго и третьего годов исследования происходил в варианте с поддержанием предполивного порога не ниже 80 % НВ. В этом варианте опыта для сорта «Награда» в среднем годичный прирост составлял от 14,7 до 15,5 см, для сорта «Солнышко» – от 13,9 до 14,4 см. На контрольном варианте с естественным увлажнением почвы для сорта «Награда» прирост в среднем варьировал от 10,2 до 10,5 см и для сорта «Солнышко» – от 9,3 до 9,7 см.

Площадь листовой поверхности относится к биометрическим показателям, которые позволяют судить о биологическом и продукционном

потенциале растений [4]. Для отобранных средних саженцев малины в каждом варианте опыта в конце каждого вегетационного периода проводилось определение площади листовой поверхности (табл. 5). Под влиянием капельного орошения формировался более развитый ассимиляционный аппарат. По сравнению с контролем в варианте 80...100 % НВ площадь листовой поверхности больше в два раза, а по сравнению с вариантом 60...80 % НВ – в полтора раза.

Помимо развития надземной части растений малины учитывались параметры корневой системы (объем корневой системы, масса корневой системы и длина корневой системы). Параметры корневой системы по вариантам опыта и годам исследования приведены в табл. 6. Максимальные значения объема, массы корневой системы, длины корней в конце вегетационных периодов каждого из годов исследования получены в варианте опыта с поддержанием влажности корнеобитаемого слоя почвы 80...100 % НВ. Объем корневой системы в нем в среднем в 2 раза больше, чем на контроле без орошения, масса корней системы в среднем больше в 1,5 раза и длина корней в 2,5 раза. Таким образом, капельное орошение способствовало формированию более развитой корневой системы, что обеспечило повышение продуктивности выращиваемых растений.

Проведенные исследования показывают, что на формирование урожайности малины существенно влияют нормы полива растений (рис. 2). При поддержании предполивной влажности не ниже 60 % НВ урожайность ягод малины для сорта «Награда» возрастает с 2,4 до 3,1 т/га и для сорта «Солнышко» – с 1,9 до 2,8 т/га по сравнению с контролем. В варианте опыта с поддержанием влажности корнеобитаемого слоя почвы в ди-

Таблица 4

Прирост в высоту саженцев малины по вариантам опыта и годам исследования

Вариант орошения	Сорт	Средняя по варианту, см		
		2020 г.	2021 г.	2022 г.
Без орошения	Награда	10,5	10,2	10,4
	Солнышко	9,5	9,3	9,7
60...80 % НВ	Награда	12,7	12,5	12,9
	Солнышко	11,0	10,8	11,8
70...90 % НВ	Награда	13,7	14,3	14,4
	Солнышко	12,9	13,1	13,2
80...100 % НВ	Награда	15,4	15,5	14,7
	Солнышко	14,4	14,4	13,9

Примечание. $НСП_{0,5} = 0,6$ для сорта «Награда»; $НСП_{0,5} = 0,3$ для сорта «Солнышко».

Таблица 5

Площадь листовой поверхности среднего саженца малины по вариантам опыта и годам исследования

Вариант орошения	Сорт	Средняя по варианту, м ²		
		2020 г.	2021 г.	2022 г.
Без орошения	Награда	2,36	2,23	2,42
	Солнышко	1,83	1,74	1,78
60...80 % НВ	Награда	4,03	3,87	4,05
	Солнышко	2,86	2,80	2,91
70...90 % НВ	Награда	5,04	5,20	5,42
	Солнышко	4,05	4,23	4,28
80...100 % НВ	Награда	5,83	5,73	5,81
	Солнышко	5,23	5,23	5,38

Примечание. $НСП_{0,5} = 0,43$ для сорта «Награда»; $НСП_{0,5} = 0,36$ для сорта «Солнышко».

Таблица 6

Параметры корневой системы саженцев малины по вариантам опыта и годам исследования

Вариант опыта		Объем		Масса		Длина	
		см ³	% к контролю	г	% к контролю	м	% к контролю
2020 г.							
Без орошения	Награда	42,5	—	71,4	—	1,5	—
	Солнышко	35,7	—	64,3	—	1,3	—
60...80 % НВ	Награда	65,1	153	92	129	2,6	173
	Солнышко	52,1	146	85	132	2,3	177
70...90 % НВ	Награда	87,4	206	109	153	3,5	233
	Солнышко	78,5	220	97	151	3,1	238
80...100 % НВ	Награда	96,4	227	124	174	3,9	260
	Солнышко	84,9	238	111	173	3,4	262
НСР _{0,05}		4,6	—	9,7	—	0,3	—
2021 г.							
Без орошения	Награда	44,2	—	80,7	—	1,7	—
	Солнышко	41,5	—	74,3	—	1,4	—
60...80 % НВ	Награда	73,2	166	104,4	129	2,9	173
	Солнышко	62,0	149	95,7	129	2,6	185
70...90 % НВ	Награда	98,4	223	123,1	152	3,9	232
	Солнышко	87,2	210	108,3	146	3,5	250
80...100 % НВ	Награда	108,6	246	139,1	172	4,4	256
	Солнышко	95,1	229	124,5	168	3,8	274
НСР _{0,05}		6,2	—	11,2	—	0,4	—
2022 г.							
Без орошения	Награда	50,5	—	84,9	—	1,9	—
	Солнышко	44,8	—	76,3	—	1,7	—
60...80 % НВ	Награда	76,8	152	107,1	126	3,1	162
	Солнышко	63,7	142	98,7	129	2,7	158
70...90 % НВ	Награда	102,8	204	128,6	151	4,1	218
	Солнышко	93,0	208	113,3	148	3,6	213
80...100 % НВ	Награда	114,1	226	144,8	171	4,6	240
	Солнышко	99,7	222	130,1	171	4,0	235
НСР _{0,05}		7,8	—	13,4	—	0,6	—

апазоне 80...100 % НВ для сорта «Награда» урожайность в среднем составила 4,2 т/га и для сорта «Солнышко» — 3,8 т/га, что в два раза превышает контроль. Проведение капельного орошения не сказалось на изменении биохимического состава плодов. Содержание микро- и макроэлементов,

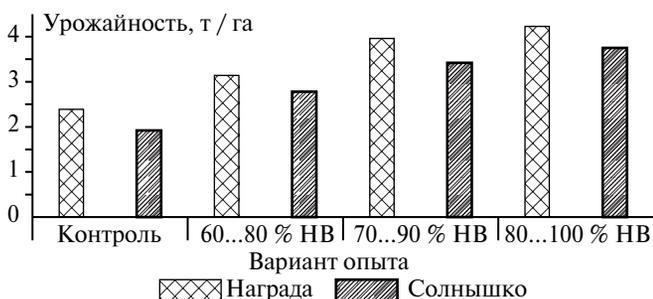


Рис. 2. Средняя урожайность малины по вариантам опыта за 2021–2022 гг.

а также тяжелых металлов было ниже уровня, установленного стандартами, предъявляемыми к ягодной продукции.

Таким образом, исследования показали, что капельное орошение способствует экономии поливной воды и созданию оптимального водно-воздушного режима почвы в течение всего вегетационного периода. Полученные результаты согласуются с данными ранее проводимых исследований для других плодово-ягодных культур, возделываемых при капельном поливе [5, 7, 8, 11, 15, 18]. Капельное орошение способствует формированию саженцев с наибольшими значениями биометрических показателей (диаметр штамба, высота растений,

площадь листовой поверхности и объем, длина, масса корневой системы) и повышению урожайности. Анализ данных опыта о биометрических показателях малины и ее урожайности позволяет рекомендовать в качестве оптимальных режимы орошения с поддержанием влажности корнеобитаемого слоя почвы в диапазоне 70...90 % НВ и 80...100 % НВ. Полученные в исследовании данные для Центрального Нечерноземья европейской части России дополняют ранее проведенные исследования по капельному орошению малины, например, для Северного Кавказа [19] и юго-западной части Беларуси [3, 14].

Заключение. В результате исследований выявлено, что капельное орошение способствует экономии поливной воды и созданию оптимального водно-воздушного режима почвы в течение всего вегетационного периода. В варианте капель-

ного 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 %. Капельное орошение способствует формированию саженцев с наибольшими значениями биометрических показателей (диаметр штамба, высота растений, площадь листовой поверхности и объем, длина, масса корневой системы) и повышению урожайности. Анализ данных опыта о биометрических показателях малины и ее урожайности позволяет рекомендовать в качестве оптимальных режимы орошения с поддержанием влажности корнеобитаемого слоя почвы в диапазоне 70...90 % НВ и 80...100 % НВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедов А.Д. Капельное орошение овощных культур в условиях Волго-Донского междуречья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4(52). С. 36–42. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-4.
2. Ветренко Е.А. Научно-экспериментальное обоснование внутрипочвенного орошения яблоневого сада: дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Ветренко. Волгоград, 2003. 209 с.
3. 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.
4. Дмитриев Н.Н., Хуснидинов Ш.К. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии // Вестник КрасГАУ. 2016. № 7(118). С. 88–93.
5. 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.
6. 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.
7. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Особенности формирования саженцев сливы, выращиваемых в плодовом питомнике при капельном орошении // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 42–45. DOI 10.31857/S2500262720040109.
8. Кирейчева Л.В., Есенгельдиева П.Н., Мусабеков К.К. Влияние капельного орошения на рост и развитие саженцев яблонь на карликовых подвоях в условиях Жамбылской области // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 2–2(56). С. 70–72. DOI 10.23670/IRJ.2017.56.031.
9. Кичина В.В. Методические указания по селекции малины и ежевики. М.: Научно-исследовательский зональный институт садоводства Нечерноземной полосы, 1981. 47 с.
10. Коваленко И.А., Осинкин В.В., Ходяков Е.А. Формирование водного режима почвы для выращивания овощных культур при капельном орошении в Нижнем Поволжье // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2014. № 10. С. 41–43.
11. Курапина Н.В., Никольская О.А. Влияние капельного орошения и удобрений на приживаемость и биометрические показатели саженцев черешни // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 55. С. 226–230. DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-226-230.

12. Мищенко Н.А. Технология и технические средства подкоронового микроорошения садовых культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.А. Мищенко. М., 2014. 23 с.

13. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцова. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.

14. Санелина Е.А., Рой М.Ю. Сочетание регулируемых факторов для получения различных уровней урожайности малины ремонтантной в условиях Юго-Западной части Беларуси // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 44. С. 139–143.

15. Сторчоус В.Н. Капельное орошение – резерв экономии воды при выращивании винограда, плодовых и овощных культур в Крыму // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. 2014. № 161. С. 123–129.

16. Торбовский В.И. Режим и техника капельного орошения малины: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 – «Мелиорация и орошаемое земледелие» // Василий Иванович Торбовский. Новочеркасск, 1992. 24 с.

17. Фролова Н.А., Резниченко И.Ю. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ // Вопросы питания. 2019. Т. 88, № 2. С. 83–90. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10021.

18. Шуравилин А.В., Бородычев В.В., Кривошук А.А. Влияние режимов капельного орошения на рост и плодоношение яблони в саду интенсивного типа // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2012. № 4. С. 49–55.

19. Ясониди О.Е., Торбовский В.И. Режим и техника капельного орошения малины // Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве: тезисы конференции, Новочеркасск, 25–29 сентября 1989 г. Ч. 2. Новочеркасск: Южгипроводхоз, 1989. С. 14–15.

20. 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.

21. Effect of surface drip irrigation and cultivars on physiological state and productivity of faba bean crop / O. Ulyanych, S. Poltoretskyi, V. Liubych [et al.] // Journal of Agricultural Science. 2021. Vol. 32. No 1. P. 139–149. DOI 10.15159/jas.21.14.

22. Seeder of exact seeding of seeds of cotton on the crest with drip irrigation / P. Berdimuratov, B. Shaymardanov, D. Ruziyev [et al.] // E3S Web of Conferences. Tashkent, 2021. P. 04044. DOI 10.1051/e3sconf/202126404044.

REFERENCES

1. Akhmedov A.D. Drip irrigation of vegetable crops in the conditions of the Volga-Don interfluvium // Proceedings of the Nizhnevolsky agro-university complex: Science and higher professional education. 2018. No. 4(52). S. 36–42. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-4.
2. Vetrenko E.A. Scientific and experimental substantiation of intrasoil irrigation of an apple orchard: dis. cand. tech. Sciences / E.A. Vetrenko. Volgograd, 2003. 209 p.
3. Volchek A.A. Efficiency of drip irrigation of remontant raspberry in the conditions of the South-Western part of Belarus / A.A. Volchek, Yu.F. Roy, E.A. Sanelina // Actual problems of the forest complex. 2015. No. 41. P. 118–121.
4. Dmitriev N.N. A technique for the accelerated determination of the area of the leaf surface of agricultural crops using computer technology / N.N. Dmitriev, Sh.K. Khusnidinov // Vestnik KrasGAU. 2016. No. 7 (118). S. 88–93.

5. Dubenok N.N. Science-based irrigation regime for plum seedlings with drip irrigation in soddy-podzolic soils / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Russian Agricultural Science. 2021. No. 4. P. 13–16. DOI 10.31857/S2500262721040037.

6. Dubenok N.N. Features of water consumption of plum seedlings grown in a nursery with drip irrigation / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Fertility. 2020. No. 4(115). S. 53–56. DOI 10.25680/S19948603.2020.115.15.

7. Dubenok N.N. Features of the formation of plum seedlings grown in a fruit nursery with drip irrigation / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Russian Agricultural Science. 2020. No. 4. P. 42–45. DOI 10.31857/S2500262720040109.

8. Kireycheva L.V. Influence of drip irrigation on the growth and development of apple seedlings on dwarf rootstocks in the conditions of the Zhambyl region / L.V. Kireycheva, P.N. Esengeldiyeva, K.K. Musabekov // International Scientific Research Journal. 2017. No. 2–2 (56). S. 70–72. DOI 10.23670/IRJ.2017.56.031.

9. Kichina V.V. Guidelines for the selection of raspberries and blackberries. M.: Research Zonal Horticulture Institute of the Non-Chernozem Belt., 1981. 47 p.

10. Kovalenko I.A. Formation of the soil water regime for growing vegetable crops under drip irrigation in the Lower Volga region / I.A. Kovalenko, V.V. Osinkin, E.A. Khodyakov // Modern Science: Actual Problems and Ways to Solve Them. 2014. No. 10. P. 41–43.

11. Kurapina N.V. Influence of drip irrigation and fertilizers on the survival rate and biometric indicators of cherry seedlings / N.V. Kurapina, O.A. Nikolskaya // Fruit growing and berry growing in Russia. 2018. T. 55. S. 226–230. DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-26-230.

12. Mishchenko N.A. Technology and technical means of under-crown micro-irrigation of horticultural crops: Ph.D. diss. Ph.D. M., 2014. 23 p.

13. Program and methods of variety study of fruit, berry and nut crops / Ed. E.N. Sedova, T.P. Ogoltsov. Eagle: VNIISPK, 1999. 608 p.

14. Sanelina E.A. Combination of adjustable factors for obtaining different levels of yield of remontant raspberry in the conditions of the South-Western part of Belarus / E.A. Sanelina, M.Yu. Roy // Actual problems of the forest complex. 2016. No. 44. P. 139–143.

15. Storchous V.N. Drip irrigation – a reserve of water saving when growing grapes, fruits and vegetables in the Crimea //

Scientific works of the Southern Branch of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine «Crimean Agrotechnological University». Series: Agricultural sciences. 2014. No. 161. P. 123–129.

16. Torbovsky V.I. Mode and technique of drip irrigation of raspberries: abstract of the thesis. diss. ... cand. s.-x. Sciences: 06.01.02 – «Melioration and irrigated agriculture» // Vasily Ivanovich Torbovsky. Novochoerkassk, 1992. 24 p.

17. Frolova N.A., Reznichenko I.Yu. Study of the chemical composition of fruit and berry raw: Materials of the Far East region as a promising source of food and biologically active substances. 2019. T. 88, No. 2. S. 83–90. DOI: 10.24411/0042–8833–2019–10021.

18. Shuravilin A.V. Influence of drip irrigation regimes on the growth and fruiting of apple trees in an intensive garden / A.V. Shuravilin, V.V. Borodychev, A.A. Krivolutsky // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry. 2012. No. 4. P. 49–55.

19. Yasonidi O. E. Mode and technique of raspberry drip irrigation / O.E. Yasonidi, V.I. Torbovsky // Improving the efficiency of water resources use in agriculture: conference abstracts, Novochoerkassk, September 25–29, 1989. Part 2. Novochoerkassk: Yuzhgirovodkhoz, 1989. P. 14–15.

20. Dubenok N.N. Moisture consumption by plum seedlings under drip irrigation in the Central Nonchernozem zone of Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // 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.

21. Effect of surface drip irrigation and cultivars on physiological state and productivity of faba bean crop / O. Ulyanych, S. Poltoretskyi, V. Liubych [et al.] // Journal of Agricultural Science. 2021. Vol. 32. No 1. P. 139–149. DOI 10.15159/jas.21.14.

22. Seeder of exact seeding of seeds of cotton on the crest with drip irrigation / P. Berdimuratov, B. Shaymardanov, D. Ruziyev [et al.] // E3S Web of Conferences. Tashkent, 2021. P. 04044. DOI 10.1051/e3sconf/202126404044.

Дубенок Николай Николаевич, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, зав. Кафедрой, ndubenok@mail.ru; **Гемонов Александр Владимирович**, канд. с.-х. наук, доцент, agemonov@yandex.ru; **Лебедев Александр Вячеславович**, канд. с.-х. наук, доцент, alebedev@rgau-msha.ru; **Ильченко Кирилл Юрьевич**, аспирант; кафедра сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).

УДК 633.16:631.559:631.82

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-1-18-23

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ОРОШЕНИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ



В.Г. СЫЧЕВ, В.А. ШЕВЧЕНКО, Н.В. ТЮТЮМА, Н.А. ЗАЙЦЕВА

Ключевые слова: ячмень яровой, обработка почвы, дозы минеральных удобрений, урожайность.

Keywords: spring barley, tillage, doses of mineral fertilizers, yield.

В статье представлены результаты по влиянию различных обработок почвы и доз минеральных удобрений

на продуктивность ярового ячменя в условиях орошения на светло-каштановых почвах Северного Прикаспия. Исследованиями выявлено, что наибольшие прибавки урожая получены при использовании рабочего органа РОПА – 0,32...0,49 т/га, а также при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{150}K_{150} - 3,91...4,08$ т/га. В абсолютном значении самая высокая урожайность зерна ячменя обеспечивалась на варианте с глубоким рыхлением почвы орудием РОПА ($h=0,4...0,45$ м) с дозой удобрений $N_{150}P_{150}K_{150} - 7,64$ т/га.

The article presents the results on the effect of various soil treatments and doses of mineral fertilizers on the productivity of

spring barley under irrigation conditions on light chestnut soils of the Northern Caspian. Studies have revealed that the greatest yield increases were obtained when using the working organ of the ROPA – 0,32–0,49 t/ha, as well as when applying mineral fertilizers at a dose of $N_{150}P_{150}K_{150}$ – 3,91–4,08 t/ha. In absolute terms, the highest yield of barley grain was provided on the variant with deep loosening of the soil with a ROP tool ($h=0,4–0,45$ m) with a dose of fertilizers $N_{150}P_{150}K_{150}$ – 7,64 t/ha.

Адаптивное растениеводство предполагает ряд агроприятий, направленных на увеличение урожайности ячменя, к которым относятся основная обработка почвы и применение минеральных удобрений [7]. Применение минеральных удобрений практически во всех регионах возделывания ячменя способствует повышению его урожайности [6]. При этом доля участия минеральных удобрений в формировании урожайности может колебаться в широких диапазонах от 40 до 70 % [9].

Яровой ячмень является ценной зернофуражной культурой, что особенно актуально для регионов с развивающимся животноводством, к которым можно отнести и Астраханскую область. Несмотря на большие потребности, площади посевов ярового ячменя достигают лишь 15 тыс. га, что, в первую очередь, связано с большими рисками при возделывании зерновых культур в данном регионе. Частые засухи на фоне низкого плодородия почв могут частично или полностью повреждать растения ячменя, что приводит к недоборам урожая или его полной потере [10, 11].

Основным фактором, лимитирующим получение высоких устойчивых урожаев данной культуры, является, в первую очередь, влагообеспеченность, которую можно частично обеспечить применением глубоких обработок почвы, а также применением орошения и обеспечение растений питанием, что достигается применением минеральных удобрений [4, 8].

Поэтому, наиболее целесообразным в засушливых условиях Астраханской области является возделывание ячменя на орошении. При этом, потенциал данной культуры при возделывании в орошаемых условиях с применением различных доз минеральных удобрений на фоне различных основных обработок почвы недостаточно изучен.

В связи с этим целью исследования являлось изучение влияния доз минеральных удобрений на фоне различной основной обработки почвы на продуктивность ярового ячменя при орошении на светло-каштановой почве аридной зоны Северного Прикаспия.

Методика. Опытный участок заложен на орошаемых полях ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской

академии наук», который расположен на севере Астраханской области в Черноярском районе [1].

Опыт двухфакторный: фактор А – основные обработки почвы – 1. Вспашка ПН-4–35 ($h=0,2…0,22$ м), контроль, 2. СибИМЭ ($h=0,3…0,35$ м), 3. РАНЧО ($h=0,35…0,4$ м), 4. РОПА ($h=0,4…0,45$ м); фактор В – дозы минерального питания – 1. Без удобрений (контроль), 2. $N_{90}P_{90}K_{90}$, 3. $N_{120}P_{120}K_{120}$, 4. $N_{150}P_{150}K_{150}$. Повторность опыта четырехкратная, учетная площадь делянки второго порядка – 100 м², общая площадь под опытом – 25 га.

Закладка опытных делянок проводилась по требованиям методики опытного дела Б.А. Доспехова (1979) [3]. Учет и наблюдения проводились по общепринятым методикам: влажность почвы термостатно-весовым методом на глубине почвенного профиля 1 м послойно по методике А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [2]; высота растений определялась по главному стеблю на закрепленных площадках, определение биологической урожайности проводилось по методике Госсортсети в четырехкратной повторности, определение элементов структуры урожайности проводилось на 10 растениях по вариантам [5].

Почвы опытного участка светло-каштановые. Результаты проведенных анализов почвенных образцов опытного участка показали низкое содержание гумуса, так, на глубине 0…0,2 м его значения колебались на уровне 0,91 %, а на глубине 0,2…0,45 м снижались до 0,87 %. Почвы слабощелочные – рН солевой вытяжки 7,6. Обеспеченность почв опытного участка подвижными формами соединений азота очень низкое – 5,3…5,4 мг/кг, фосфора низкое – 20,3…28,4 мг/кг, калия высокое – 228,4…265,2 мг/кг.

Климатические условия места проведения опыта сильно континентальные, засушливые. Осадков выпадает мало (не более 250 мм в год), при этом испаряемость превышает их в 4…5 раз. Коэффициент увлажнения данной территории 0,12…0,33. По ГТК место закладки опыта относится к засушливому району с коэффициентом 0,4…0,5 [1].

Посев проводили в первой декаде апреля при готовности почвы. Удобрения вносились при посеве. Вегетационные поливы ярового ячменя проводились с учетом поддержания предполивного порога влажности почвы на уровне 70…75 % НВ в периоды всходов, выхода в трубку, колошения и налива зерна с учетом погодных условий года. В среднем за вегетацию проводилось 5…8 поливов поливной нормой 500…550 м³/га. Орошение осуществлялось дождевальными машинами кругового действия Centerstar НК 168.

Результаты и их обсуждение. Различные дозы минерального питания на фоне различных основных обработок почвы предопределили отличия вегетации ярового ячменя по вариантам опыта и отразились на средних показателях структуры урожая и урожайности в целом.

В результате проведенных трехлетних испытаний установлено, что изучаемые факторы опыта оказывают влияние на формирование продуктивности ярового ячменя, в частности увеличение глубины обработки почвы и повышение доз минерального питания на фоне орошения способствуют увеличению высоты растений ячменя в среднем на 0,05...0,21 м.

Наибольшее значение высоты растений отмечалось на варианте обработки почвы рабочим органом РОПА ($h=0,4\dots,45$ м) с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{150}K_{150} - 0,83$ м. На данном варианте отмечалось и наибольшее количество продуктивных стеблей — 599 шт./м², что выше контрольного варианта без удобрений на 78 шт./м², а по сравнению с аналогичным по внесению минеральных удобрений вариантом на обработке почвы ПН-4-35 ($h=0,2\dots,0,22$ м) на 110 шт./м².

Минимальная длина колоса отмечалась на контрольном варианте ПН-4-35 ($h=0,2\dots,0,22$ м) без внесения минеральных удобрений — 7 см. Внесение различных доз минеральных удобрений способствовало увеличению длины колоса на данном варианте обработки почвы на 0,4...0,6 см. Наибольшие значения длины колоса отмечались на ва-

риантах с обработками почвы РАНЧО и РОПА от 7,3 до 8,1 см в зависимости от доз минеральных удобрений.

Количество зерен в колосе также варьировало от 29 до 50 шт. в зависимости от обработки почвы и доз удобрений (табл. 1).

Наибольшая масса зерен с колоса получена на всех вариантах основной обработки почвы при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{150}K_{150} - 2,07\dots,2,8$ г.

Масса 1000 зерен также возрастала по мере увеличения доз вносимых удобрений от 41,05 г на варианте вспашка ПН-4-32 без удобрений до 56 г на варианте с обработкой почвы орудием РОПА с внесением удобрений в дозе $N_{150}P_{150}K_{150}$ (см. табл. 1).

Увеличение глубины основной обработки почвы с 0,20...0,22 м при вспашке ПН-4-32 (контроль) до 0,3...0,35 м при обработке почвы СибИМЭ способствовало увеличению урожайности при разных уровнях минерального питания в среднем за годы изучения от 0,06 до 0,22 т/га, или на 0,8...4,8 %, по сравнению с контролем (табл. 2).

Увеличение глубины обработки почвы до 0,35...0,4 м при использовании орудия РАНЧО также обеспечивало прибавку урожайности в диапазоне 0,27...0,38 т/га, или 5,2...8,3 %. А наибольшие прибавки урожайности отмечались на варианте с глубоким рыхлением почвы орудием РОПА — 0,32...0,49 т/га, или 6,9...9,9 % (см. табл. 2).

Повышение доз минерального питания ярового ячменя также способствовало росту прибав-

Таблица 1

Элементы структуры урожайности ярового ячменя «Ратник» в зависимости от варианта опыта, среднее за 2020–2022 гг.

Обработка почвы	Доза минеральных удобрений	Высота растений, м	Кол-во продуктивных стеблей, шт./м ²	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Вспашка ПН-4-35 ($h=0,2\dots,0,22$ м), контроль	Без удобрений	0,55	389	7,0	29	1,19	41,05
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,57	421	7,4	30	1,28	42,50
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	0,58	452	7,5	38	1,63	42,86
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	0,60	489	7,6	44	2,07	47,14
СибИМЭ ($h=0,3\dots,0,35$ м)	Без удобрений	0,60	452	7,1	30	1,25	41,82
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,67	493	7,5	41	1,73	42,08
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	0,68	552	7,6	45	1,95	43,33
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	0,72	576	7,8	46	2,04	44,40
РАНЧО ($h=0,35\dots,0,4$ м)	Без удобрений	0,61	498	7,3	32	1,39	43,33
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,80	529	7,7	39	1,78	45,60
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	0,80	558	7,9	41	1,81	44,23
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	0,81	582	8,0	48	2,49	51,92
РОПА ($h=0,4\dots,0,45$ м)	Без удобрений	0,72	521	7,5	35	1,54	44,07
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,78	545	7,9	40	1,81	45,36
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	0,82	578	7,9	48	2,31	48,21
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	0,83	599	8,1	50	2,80	56,00

вок урожайности зерна. При дозе удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$, независимо от основной обработки почвы, урожайность повышалась в среднем за годы изучения на 2,43...2,58 т/га, или на 9...9,56 %, по сравнению с контролем. Еще большая прибавка урожайности отмечалась на вариантах с дозой $N_{120}P_{120}K_{120}$, достигнув 3,02...3,25 т/га или 8,39...9,03 % по сравнению с вариантами без удобрений. Увеличение дозы удобрений до $N_{150}P_{150}K_{150}$ способствовало получению прибавки урожайности до 3,91...4,08 т/га или 8,69...9,07 %. Наибольшая урожайность зерна ячменя обеспечивалась на варианте с глубоким рыхлением почвы орудием РОПА ($h=0,4...0,45$ м) с дозой удобрений $N_{150}P_{150}K_{150}$, составив 7,64 т/га (см. табл. 2).

Расчет показал, что наиболее высокая окупаемость одного килограмма удобрений прибавкой урожая обеспечивалась при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$, независимо от приемов основной обработки почвы (табл. 3).

Расчет экономической эффективности показал, что в орошаемых условиях, несмотря на дополнительные затраты возделывание ярового ячменя рентабельно (табл. 4).

Так, на контрольных вариантах при средней урожайности 3,24...3,56 т/га, рентабельность составила 117,55...137,08 %, а окупаемость 2,18...2,37 руб. на рубль вложенных затрат. Наиболее эффективным показали себя варианты с основной обработкой почвы орудием РОПА и РАНЧО с рентабельностью 137,08...134,20 % и окупаемостью 2,37...2,34 руб./руб.

Внесение минеральных удобрений способствовало дальнейшему увеличению урожайности ячменя и повышению рентабельности его возделывания.

Таблица 2

Урожайность ярового ячменя в зависимости от способов основной обработки почвы и доз минерального питания, т/га

Обработка почвы	Год	Дозы минеральных удобрений			
		Без удобрений	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$	$N_{150}P_{150}K_{150}$
Вспашка ПН-4-35 ($h=0,2...0,22$ м), контроль	2020	3,05	5,25	6,03	6,89
	2021	3,21	5,58	6,18	7,11
	2022	3,45	6,18	6,56	7,45
	Среднее	3,24	5,67	6,26	7,15
СибИМЭ ($h=0,3...0,35$ м)	2020	3,10	5,41	6,38	7,05
	2021	3,29	5,87	6,61	7,15
	2022	3,53	6,38	6,69	7,42
	Среднее	3,31	5,89	6,56	7,21
РАНЧО ($h=0,35...0,4$ м)	2020	3,35	5,92	6,18	7,38
	2021	3,50	6,03	6,69	7,58
	2022	3,69	6,21	6,98	7,61
	Среднее	3,51	6,05	6,62	7,52
РОПА ($h=0,4...0,45$ м)	2020	3,44	6,01	6,52	7,58
	2021	3,52	6,11	6,78	7,62
	2022	3,71	6,21	6,87	7,71
	Среднее	3,56	6,11	6,72	7,64

Примечание. НСР₀₅ общая 0,1...0,11; НСР₀₅ по фактору А 0,05...0,06; НСР₀₅ по фактору В 0,05...0,06; НСР₀₅ АВ 0,05...0,06.

Как видно из табл. 4, на вариантах с дозой минеральных удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$ рентабельность варьировала в зависимости от основной обработки почвы от 146,88 до 164,63 %, а окупаемость от 2,47 до 2,65 руб./руб., на вариантах с $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 149,59...166,63 % и 2,50...2,67 руб./руб., на вариантах с $N_{150}P_{150}K_{150}$ – 153...169,17 % и 2,53...2,69 руб./руб.

Таблица 3

Анализ эффективности применения удобрений при возделывании ячменя сорта Ратник на орошении при различных основных обработках почвы, среднее за 2020–2022 гг.

Обработка почвы	Дозы минеральных удобрений	Урожайность, т/га	Прибавка от удобрений, т/га	Окупаемость НРК, кг/кг
Вспашка ПН-4-35 ($h=0,2...0,22$ м), контроль	Без удобрений	3,24	–	–
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,67	2,43	9,0
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,26	3,02	8,4
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,15	3,91	8,7
СибИМЭ ($h=0,3...0,35$ м)	Без удобрений	3,31	–	–
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,89	2,58	9,5
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,56	3,25	9,0
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,21	3,90	8,7
РАНЧО ($h=0,35...0,4$ м)	Без удобрений	3,51	–	–
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	6,05	2,54	9,4
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,62	3,11	8,6
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,52	4,01	8,9
РОПА ($h=0,4...0,45$ м)	Без удобрений	3,56	–	–
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	6,11	2,55	9,4
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,72	3,16	8,8
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,64	4,08	9,1

Таблица 4

Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя на орошении при различных основных обработках почвы и дозах минеральных удобрений, среднее за 2020–2022 гг.

Обработка почвы	Дозы минеральных удобрений	Урожайность, т/га	Себестоимость 1 т, руб.	Доход, руб./га	Прибыль, руб./га	Прибыль, руб./т	Рентабельность, %	Экономическая эффективность на 1 руб. вложенных затрат, руб.
Вспашка ПН-4-35 ($h=0,2...0,22$ м), контроль	Без удобрений	3,24	5516,05	38880,00	21008,00	6483,95	117,55	2,18
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,67	4860,58	68040,00	40480,50	7139,42	146,88	2,47
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,26	4807,83	75120,00	45023,00	7192,17	149,59	2,50
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,15	4743,13	85800,00	51886,60	7256,87	153,00	2,53
СИБИМЭ ($h=0,3...0,35$ м)	Без удобрений	3,31	5375,23	39720,00	21928,00	6624,77	123,25	2,23
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,89	4665,45	70680,00	43200,50	7334,55	157,21	2,57
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,56	4575,76	78720,00	48703,00	7424,24	162,25	2,62
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,21	4692,57	86520,00	52686,60	7307,43	155,72	2,56
РАНЧО ($h=0,35...0,4$ м)	Без удобрений	3,51	5123,93	42120,00	24135,00	6876,07	134,20	2,34
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	6,05	4573,97	72600,00	44927,50	7426,03	162,35	2,62
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,62	4563,44	79440,00	49230,00	7436,56	162,96	2,63
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,52	4524,79	90240,00	56213,60	7475,21	165,21	2,65
РОПА ($h=0,4...0,45$ м)	Без удобрений	3,56	5061,52	42720,00	24701,00	6938,48	137,08	2,37
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	6,11	4534,62	73320,00	45613,50	7465,38	164,63	2,65
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	6,72	4500,60	80640,00	50396,00	7499,40	166,63	2,67
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	7,64	4458,17	91680,00	57619,60	7541,83	169,17	2,69

Наибольшие значения рентабельности – 169,17 % и окупаемости – 2,69 руб./руб. получены на варианте с обработкой почвы рабочим органом РОПА и внесением $N_{150}P_{150}K_{150}$.

Заключение. В результате проведенного изучения установлено, что увеличение глубины основной обработки почвы способствовало увеличению урожайности при разных дозах минерального питания, при обработке почвы СИБИМЭ на 0,06...0,22 т/га, или на 0,8...4,8 %, РАНЧО 0,27...0,38 т/га, или 5,2...8,3 %, РОПА – 0,32...0,49 т/га, или 6,9...9,9 %, относительно контрольного варианта (ПН 4-35).

Повышение доз минерального питания также способствовало росту прибавок урожайности зерна, так при дозе удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$ урожайность повышалась на 2,43...2,58 т/га, или на 9...9,56 %, на вариантах с $N_{120}P_{120}K_{120}$ на 3,02...3,25 т/га или 8,39...9,03 % на $N_{150}P_{150}K_{150}$ на 3,91...4,08 т/га или 8,69...9,07 %. В абсолютном значении самая высокая урожайность зерна ячменя обеспечивалась на варианте с глубоким рыхлением почвы орудием РОПА ($h=0,4...0,45$ м) с дозой удобрений $N_{150}P_{150}K_{150}$ – 7,64 т/га.

Оценка экономической эффективности изучаемых приемов основной обработки почвы на фоне различных доз минерального питания показала, что наиболее рентабельным является обработка почвы рабочими органами РОПА на глубину 0,40...0,45 м на всех вариантах внесения раз-

личных доз минеральных удобрений. Наибольшие значения при этом получены на варианте РОПА + $N_{150}P_{150}K_{150}$ – 169,17 % и – 2,69 руб./руб.

Таким образом, в результате проведенного изучения доказана повышенная эффективность возделывания ярового ячменя на орошении в условиях светло-каштановых почв Северного Прикаспия, которое совместно с основными обработками почвы и применением минеральных удобрений обеспечивает урожайность на уровне 5,67...7,64 т/га, с прибавками урожая относительно контроля от 2,4 до 4,1 т/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматические ресурсы Астраханской области. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 136 с.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1979. 336 с.
4. Маркарова Ж.Р., Кулыгин В.А. Эффективность минеральных удобрений на яровом ячмене // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 9. С.116–118.
5. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ кормов, 1983. 197 с.
6. Эффективность применения различных удобрительных составов на яровом ячмене / Р.Н. Назаров, Л.З. Вахитова, Л.З. Каримова [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2017. № 2(50). С. 60–63.
7. Анализ использования минеральных удобрений под озимую пшеницу в Ставропольском крае / В.Г. Сычев, Ю.И. Гречишкина, А.В. Бурлай, А.В. Матвиенко // Плодородие. 2021. № 2(119). С. 3–6. DOI 10.25680/S19948603.2021.119.01.

8. Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М. Научные основы и методика определения доз питательных веществ и прогнозирования экономической эффективности применения минеральных удобрений. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2020. 152 с. DOI 10.25680/VNIIA.2019.85.67.149.

9. Титова Е.М., Внуква М.А. Эффективность применения комплексных удобрений на посевах ячменя ярового // Вестник ОрелГАУ. 2011. № 5. С. 116–120.

10. Туманян А.Ф., Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н. Агротехнологические приемы повышения урожайности озимых и яровых зерновых культур в условиях Астраханской области // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2020. № 1(43). С. 3–6. DOI 10.32935/2221-7312-2020-43-1-3-6.

11. Прогрессивный способ основной обработки почвы под ячмень в условиях полупустынной зоны северного Прикаспия / В.А. Федорова, Д.П. Поляков, Ю.П. Тарасенкова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 40–45. DOI 10.28983/asj.y2019i11pp40–45. EDN QUQRAW.

REFERENCES

1. Agro-climatic resources of the Astrakhan region. L.: Hydrometeoizdat, 1974. 136 p.

2. Vadyunina A.F. Methods of investigation of physical properties of soils / A.F. Vadyunina, Z.A. Korchagina. M.: Agropromizdat, 1986. 416 p.

3. Dospikhov V.A. Methodology of field experience. M.: Agropromizdat, 1979. 336 p.

4. Markarova Zh.R. Efficiency of mineral fertilizers on spring barley / Zh.R. Markarova, V.A. Kulygin // Economics and Business: theory and practice. 2018. No. 9. P. 116–118.

5. Guidelines for conducting field experiments with forage crops. M.: VNIH kormov, 1983. 197 p.

6. Efficiency of application of various fertilizing compositions on spring barley / R.N. Nazarov, L.Z. Vakhitova, L.Z. Karimova [et al.] // Grain farming of Russia. 2017. 2 (50). P. 60–63.

7. Analysis of the use of mineral fertilizers for winter wheat in the Stavropol Territory / V.G. Sychev, Yu.I. Grechishkina, A.V. Burlai, A.V. Matvienko // Fertility. 2021. № 2(119). P. 3–6. DOI 10.25680/S19948603.2021.119.01.

Sychev V.G. Scientific bases and methods for determining nutrient doses and forecasting the economic efficiency of the use of mineral fertilizers / V.G. Sychev, S.A. Shafran, T.M. Dukhanina. M.: D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 2020. 152 p. DOI 10.25680/VNIIA.2019.85.67.149.

9. Titova E.M. Efficiency of application of complex fertilizers on spring barley crops / E.M. Titova, M.A. Vnukova // Bulletin of the OreLGAU. 2011. No. 5. P. 116–120.

10. Tumanyan A.F. Agrotechnological methods of increasing the yield of winter and spring grain crops in the conditions of the Astrakhan region / A.F. Tumanyan, N.V. Tyutyuma, A.N. Bondarenko // Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2020. № 1(43). P. 3–6. DOI 10.32935/2221-7312-2020-43-1-3-6.

11. Progressive method of basic tillage for barley in the conditions of the semi-desert zone of the northern Caspian / V.A. Fedorova, D.P. Polyakov, Yu.P. Tarasenkova [et al.] // Agrarian Scientific Journal. 2019. No. 11. P. 40–45. DOI 10.28983/asj.y2019i11pp40–45. EDN QUQRAW.

Сычев Виктор Гаврилович, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, sychev55@mail.ru (Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова); **Шевченко Виктор Александрович**, академик РАН, доктор с.-х. наук (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»); **Тютюма Наталья Владимировна**, член-корр. РАН, доктор с.-х. наук, tutumanv@list.ru; **Зайцева Надежда Александровна**, канд. с.-х. наук, rexhat@rambler.ru (ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»).

УДК 626.86.631.445(571.1)

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-1-23-28

ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КРАЙНЕГО СЕВЕРА КАК СРЕДА ВЫРАЩИВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ



Ключевые слова: песчаный грунт, гидротермические режимы, влажность, температура, мерзлота, многолетние травы.

Keywords: sandy soil, hydrothermal regimes, humidity, temperature, permafrost, perennial grasses.

А.С. МОТОРИН

Изучение водного и температурного режимов проводили на дне песчаного карьера 25-летней выработки в лесотундровой зоне Ямало-Ненецкого автономного округа (15 км от г. Салехарда). На основе анализа результатов полевых исследований установлена зависимость влажности песчаного грунта от количества выпавших атмосферных осадков ($r=0,58...0,93$). В условиях лесотундровой зоны Ямало-Ненецкого автономного округа запасы влаги в агроценозах многолетних трав зависят от влагообеспеченности веге-

тационного периода и могут варьировать от избыточного увлажнения (ранней весной и осенью) до острого дефицита в летний период (20...30% НВ в слое почвы 0,4 м). Для повышения влажности песчаного грунта, увеличения в нем запасов влаги и улучшения термического режима для многолетних трав предложено внесение торфа в дозе 100...150 т/га. Выявлены тенденции изменения температурного режима песчаных грунтов Крайнего Севера, обусловленные низкими температурами воздуха ($r=0,83...0,91$) и наличием мерзлых пород на глубине 50...70 см. Практически ежегодно в течение вегетационного периода температура корнеобитаемого слоя (0...20 см) может опускаться ниже 5 °С из-за резких колебаний температуры воздуха, что оказывает негативное влияние на рост и развитие многолетних трав. Накопление малой суммы активных температур в 0,2-метровом слое песчаного грунта (198,1...307,1 °С) определяет необходимость включения в состав рекультивационной травосмеси холодостойких видов многолетних трав.

The study of water and temperature regimes was carried out at the bottom of a 25-year-old sand pit in the forest-tundra zone of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (15 km from Salekhard). Based on the analysis of the results of field studies, the dependence of the moisture content of sandy soil on the amount of precipitation ($r=0,58-0,93$) was established. In the conditions of the forest-tundra zone of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, the moisture reserves in the agrocenoses of perennial grasses depend on the moisture supply of the growing season and can vary from excessive moisture (in early spring and autumn) to an acute deficit in summer (20–30% HB in the soil layer 0,4 m). To increase the moisture content of sandy soil, increase its moisture reserves and improve the thermal regime for perennial grasses, it is proposed to introduce peat at a dose of 100–150 t/ha. Tendencies of changes in the temperature regime of sandy soils of the Far North, due to low air temperatures ($r=0,83-0,91$) and the presence of frozen rocks at a depth of 50–70 cm, are revealed. Almost every year during the growing season, the temperature of the root layer (0–20 cm) can drop below 5 °C due to sharp fluctuations in air temperature, which has a negative impact on the growth and development of perennial grasses. The accumulation of a small sum of active temperatures in a 0.2-meter layer of sandy soil (198,1–307,1 °C) determines the need to include cold-resistant species of perennial grasses in the reclamation grass mixture.

Введение. На территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) происходит разработка крупных нефтяных и газовых месторождений [1]. Техногенное воздействие приводит к уничтожению растительного покрова и малопродуктивного плодородного слоя почвы, к обнажению биологически инертной, низкопродуктивной минеральной части профиля [2]. Нарушенные почвогрунты, лишённые растительного покрова и верхнего органогенного горизонта почвы, характеризуются низкой противоэрозийной устойчивостью и легко подвергаются воздействию разрушительных процессов [3]. При этом меняются гидротермические условия, развивается ускоренная эрозия и другие негативные процессы, увеличивающие нарушенную площадь [4]. Нарушение теплообмена в минеральной толще под поврежденной растительностью сопровождается опусканием уровня вечной мерзлоты, увеличением мощности сезонного оттаивания, способствует развитию солифлюкционных процессов, термоэрозии и термокарста [5].

Заращение песчаных грунтов, где был полностью уничтожен почвенно-растительный покров, протекает чрезвычайно медленно: к концу второго десятилетия только 20...50% площади покрывается растительностью. При этом происходит сокращение флористического и фитоценологического разнообразия [6]. Восстановительные процессы не успевают за развивающимися разру-

шениями, вызванными антропогенной деятельностью. Зоны сильных нарушений практически самостоятельно не восстанавливаются и нуждаются в незамедлительной биорекультивации [7, 8]. Одной из главных проблем восстановления северных территорий является ограниченность технологий, способствующих восстановлению нарушенных земель. Рекультивация и технологии ее выполнения должны отвечать почвенно-климатическим условиям зоны, одновременная реализация которых призвана повысить эффективность восстановления компонентов природы [9]. Чрезвычайно важен при этом подбор видов и сортов многолетних трав, т. к. их рост и развитие будут происходить в очень неблагоприятных гидротермических условиях [10, 11]. На территории ЯНАО практически не проводилось многолетних систематических наблюдений за водным и тепловым режимами песчаного грунта на этапе биологической рекультивации, что явилось предметом наших исследований.

Цель исследования – изучить особенности водного и теплового режимов песчаных грунтов как среды выращивания многолетних трав для биологической рекультивации.

Материал и методы исследования. Полевые исследования проведены на дне песчаного карьера 25-летней выработки, расположенном в лесотундровой зоне Ямало-Ненецкого автономного округа (15 км от г. Салехард).

Среднегодовая температура воздуха в зоне лесотундры –5 °C. Сумма эффективных температур – 1100...1200 °C. Осадков выпадает от 220 до 400 мм в год, из них 60% – в весенне-летний период. Агроклиматические условия в годы проведения исследований существенно отличались от среднемноголетних значений. Дефицит осадков к норме (204 мм) за вегетационный период составлял 6,8...31,3%; температура воздуха превышала среднемноголетнюю величину на 1,2...2,4 °C. С глубины 50...70 см почва подстилается вечной мерзлотой.

При закладке опыта применялся торф переходного типа с плотностью сложения 0,1 кг/м³, рН (сол.) – 4,15, гидролитической кислотностью 4,27 мг-экв/100 г почвы, № общ. – 1,06%, P₂O₅ – 0,23%, K₂O – 0,07%, CaO – 0,35%.

Влажность грунтов определяли ежедекадно термостатновесовым методом в трехкратном повторении через каждые 10 см по глубинам: 0...10; 10...20; 20...30; 30...40 см на постоянных площадках в течение вегетационного периода. Температуру грунтов измеряли термометрами Савинова по глубинам 5, 10, 15, 20 см в 14:00 местного де-

кретного времени каждые пять суток на протяжении вегетационного периода. На делянках опыта беспокровно высевали овсяницу красную сорта Свердловская с нормой 60 кг/га. Фенологические наблюдения за ростом и развитием многолетних трав велись по методике ГСУ.

Результаты исследования и их обсуждение. Известно, что вода в зависимости от ее содержания в почве обладает различной подвижностью и разной степенью доступности растениям. Многолетние травы предъявляют повышенные требования к влажности почвы в течение всего вегетационного периода. Наличие вечной мерзлоты на небольшой глубине от поверхности накладывает отпечаток на характер формирования влажности почвы. Влажность почвы при наличии мерзлоты определяется количеством влаги, расходуемой на испарение почвой и растениями, с одной стороны, и количеством осадков в весенне-летний период и влагой, поступающей от таянья мерзлой толщи – с другой. Влажность песчаных грунтов в значительной степени зависит от количества осадков в течение вегетационного периода. В среднем за вегетационный период коэффициент корреляции между запасами влаги и осадками составил: 2016 г. – 0,93; 2017 г. – 0,70; 2018 г. – 0,58.

В годы исследований количество осадков в течение вегетационного периода существенно отличалось от среднееголетних значений за исключением 2016 г., когда осадков выпало на 13,8 мм (6,8%) меньше нормы. Для многолетних трав важную роль играет не только количество выпадающих осадков, но и их распределение на протяжении вегетационного периода. Так, в 2016 г. две декады июня были засушливыми, особенно первая, когда выпало 28,1% нормы осадков. Напротив, в конце месяца, превышение к норме составило 17 мм (80,9%). В июле осадки выпадали также неравномерно: в первую декаду вместо 20 мм выпало только 6,5 мм (32,5%); во вторую декаду месяца – 177,8% нормы. Близкая к этой ситуация наблюдалась и в августе. В 2017 г. почти половина (41,5%) средневегетационной нормы осадков выпала в первый месяц вегетации многолетних трав. На протяжении всего июля 2017 г. осадков по декадам было меньше нормы соответственно на 26,5; 21,3; 46,4%. В первую и третью декады августа количество осадков соответствовало среднееголетней норме. Во вторую декаду этого месяца дефицит осадков к норме был максимальным за всю вегетацию (92%). В течение вегетационного периода 2018 г. зафиксировано минимальное количество осадков – 68,7% к нор-

ме. Следует отметить, что на протяжении третьей декады июня и первой июля осадков не было вообще. Во вторую декаду июля выпало 3,5 мм вместо 23 мм по норме, то есть осадки отсутствовали практически на протяжении месяца, что не могло не отразиться негативно на росте и развитии многолетних трав. Максимальное количество осадков (140,9% к норме) в течение вегетационного периода выпало в третью декаду июля.

На варианте опыта с внесением 50 т/га торфа максимальное содержание влаги наблюдалось сверху (0...10 см). В среднем за 3 года исследований это выглядит следующим образом. Если принять влажность грунта на глубине 0...10 см за 100%, то на глубине 10...20 см она составит 80,1%; 20...30 см – 70,1%; 30...40 см – 81,5% (табл. 1).

Полученные результаты косвенно свидетельствуют о высокой влагоемкости торфа. Увеличение дозы внесения торфа с 50 до 100 т/га обеспечило существенное повышение запасов влаги в слое 0...40 см. В среднем за 3 года запасы влаги в этом слое увеличились на 10,5 мм (27,9%). По годам прибавка влаги значительно изменялась: 2016 г. – 13,7 мм (26,2%); 2017 г. – 7 мм (19,8%); 2018 г. – 10,7 мм (42,3%). Если оценивать в абсолютных величинах, то максимальная прибавка запасов влаги 13,7 мм получена в 2016 г., когда осадков выпало почти среднееголетняя норма.

Высокая доза торфа (100 т/га) обеспечила наибольшую прибавку запасов влаги по всему слою 0...40 см в острозасушливый вегетационный период 2018 г., которая составила 42,3% по сравнению с дозой торфа 50 т/га. Влажность корнеобитаемого слоя песчаного грунта под влиянием осадков изменялась от верхнего предела оптимальности в начале вегетационного периода (0,74...0,88 НВ), до ее существенного дефицита в июле (0,31...0,46 НВ). В засушливые периоды, когда осадки отсутствовали полторы-две недели, влажность грунтов снижалась до 0,2...0,3 НВ. Одной из важных причин неустойчивости режи-

Таблица 1

Запасы влаги в песчаном грунте под многолетними травами в зависимости от дозы торфа, мм

Глубина, см	Год						Среднее за 3 года	
	2016		2017		2018		1	2
	1	2	1	2	1	2		
0...10	15,7	19,9	13,8	15,6	11,4	13,2	13,6	16,2
10...20	12,7	15,4	8,6	11,1	5,5	7,0	8,9	11,2
20...30	11,0	15,5	6,2	7,4	4,2	7,7	7,1	10,2
30...40	12,8	15,1	6,7	8,2	4,2	8,1	7,9	10,5

Примечание. 1 – доза торфа 50 т/га; 2 – доза торфа 100 т/га.

ма влажности песчаных грунтов является низкая влагоемкость, обусловленная легким гранулометрическим составом.

Мерзлота в условиях Крайнего Севера является важным регулятором влажности почвы. На границе оттаявшего слоя и мерзлоты влажность не опускается ниже 0,4...0,5 НВ, обеспечивая растения влагой на удовлетворительном уровне. При большом количестве осадков (10 и более мм) и близком залегании мерзлоты к поверхности влажность корнеобитаемого слоя (0,2 м) возрастает до верхнего предела оптимальности, несмотря на легкий гранулометрический состав грунтов.

Одним из решающих факторов развития многолетних трав является температура почвы, особенно в начале вегетации. Во всех процессах, происходящих в почве, проявляется влияние температуры. Очень важно установить особенности температурного режима почв в условиях Крайнего Севера, где преобладают низкие температуры воздуха.

В результате исследований установлено, что в среднем за три года температура грунта в течение вегетационного периода на глубине 5 см составила 10,6 °С, 10 см – 9,6 °С, 15 см – 8,6 °С и 20 см – 7,8 °С (табл. 2).

Полученные результаты многолетних исследований свидетельствуют о том, что температура песчаного грунта в верхнем 0,2-метровом слое существенно ниже оптимальных значений для активного роста и развития многолетних трав. Одной из главных причин низкой температуры грунта является постоянное близкое залегание мерзлоты к поверхности. По этой причине самая

тесная связь между температурой воздуха и почвы в течение вегетационного периода имеется лишь в самой верхней части профиля. Средние коэффициенты корреляции между температурой воздуха и грунта за трехлетний период следующие: на глубине 5 см – 0,91; 10 см – 0,88; 15 см – 0,85; 20 см – 0,83.

Другой важной особенностью температурного режима северных песчаных грунтов являются резкие колебания температуры не только в целом за вегетационный период, но и в течение короткого срока. Например, 21 июня 2016 г. на глубине 5 см температура была равна 14 °С, через 3 дня она понизилась до 8 °С, т. е. почти в два раза. Примерно такое же снижение температуры произошло на глубинах 10, 15 и 20 см. Еще более значительное снижение температуры отмечено в конце первой декады июля. Если температура в первой декаде июля в 0,2-метровом слое составила 11,3 °С, то во второй только 7,4 °С. В третьей декаде июля она вновь значительно возросла, достигнув величины 10 °С. Аналогичное явление происходило и в другие два года исследований. Резкие перепады температуры почвы в течение вегетационного периода задерживали рост и развитие многолетних трав.

Переход температуры через 5 °С все годы происходил примерно в одни сроки во второй декаде июня. На глубине 15...20 см переход отмечался на 2...4 дня позднее, чем в слое 0...10 см. Причина позднего весеннего перехода температуры через 5 °С – низкая температура воздуха, близкое залегание мерзлоты к поверхности и относительно высокая влажность песчаного грунта в ранневесенний период.

Период с температурой почвы выше 10 °С характеризуется краткостью и большой неустойчивостью (табл. 3). Особенно ярко это проявилось в 2016 г.

В 2016 г. переход температуры на глубине 0...15 см произошел в конце первой декады июня (18.VI). Через 6 дней температура по всему слою 20 см опустилась до 6...8 °С. Начиная с 11 по 27 июля температура по всему 0,2-метровому слою находилась на уровне 5...9 °С. Только один раз 28 августа в результате высокой температуры воздуха она повышалась до 11...15 °С. После этой даты температура грунта уже составляла 2...4 °С и более не достигала значения 10 °С до конца вегетационного периода. В 2017 г. нами отмечены также резкие колебания температуры. Снижение температуры до 3...5 °С произошло через 6 дней (19.VII) после первоначаль-

Таблица 2

Температура песчаного грунта за вегетационный период, °С

Глубина, см	Год			Среднее за 3 года
	2016	2017	2018	
5	8,4	10,5	13,0	10,6
10	8,0	9,6	11,2	9,6
15	7,0	8,6	10,1	8,6
20	6,4	7,9	9,2	7,8

Таблица 3

Даты перехода температуры песчаного грунта через 10 °С (2016–2018 гг.)

Глубина, см	Переход		Период с температурой 10 °С и более, дней
	Весенний	Осенний	
0...5	13–17.VI	10.VII–9.VIII	23...57
5...10	14–18.VI	10.VII–6.VIII	22...53
10...15	15–19.VII	10.VII–5.VIII	22...26
15...20	21.VI–12.VII	9.VII–5.VIII	18...24

ного ее перехода через 10 °С. На четвертые сутки после снижения температура грунта повысилась до 11...14 °С. На глубинах 5...15 см температура выше 10 °С продержалась 17 дней. В этот период на глубине 20 см температура грунта не превышала 8...9 °С. С 9 по 20 июля температура вновь опустилась до 4...7 °С. В третьей декаде июля и до 5 августа температура по всему слою 20 см превышала 10 °С, достигая 14 °С. В 2018 г. по-иному складывался температурный режим грунта. Прежде всего, в слое 0...10 см после перехода через 10 °С температура не опускалась ниже этой величины до конца вегетационного периода. На глубине 15...20 см из-за медленного оттаивания грунта постоянный переход температуры через 10 °С произошел 9–12 июля. Ранее только в течение суток (29 июня) температура на этой глубине поднималась до 11...12 °С.

Низкая температура грунта и запаздывание со сроками ее перехода через 10 °С обуславливают накопление малой суммы активных температур (табл. 4).

Максимальная сумма активных температур по всему слою 0...20 см накоплена в 2018 г. Произошло это, прежде всего, за счет более раннего весеннего и позднего осеннего перехода температуры через 10 °С. Вниз по профилю грунта различия по сумме активных температур достигают максимума на глубине 15...20 см. Самая минимальная сумма активных температур установлена в 2016 г. В целом можно отметить острый дефицит тепла для активного роста и развития всех культур, включая многолетние травы. Это обстоятельство диктует необходимость тщательного подбора трав при формировании рекультивационной травосмеси.

Выводы

1. На основе анализа результатов полевых исследований установлена зависимость влажности песчаного грунта от количества выпавших атмосферных осадков ($r=0,58...0,93$). В условиях лесотундровой зоны Ямало-Ненецкого автономного округа запасы влаги в агроценозах многолетних трав зависят от влагообеспеченности вегетационного периода и могут варьировать от избыточного увлажнения (ранней весной и осенью) до острого дефицита в летний период (20...30 % НВ в слое почвы 0,4 м). Для повышения влагоемкости песчаного грунта, увеличения в нем запасов влаги и улучшения термического режима для многолетних трав предложено внесение торфа в дозе 100...150 т/га.

2. Выявлены тенденции изменения температурного режима песчаных грунтов Крайнего Севера, обусловленные низкими температурами

Таблица 4

Сумма активных среднесуточных температур грунта за вегетационный период (2016–2018 гг.)

Глубина, см	Год			Среднее за 3 года
	2016	2017	2018	
0...5	179,8	364,0	508,2	350,7
5...10	159,9	319,2	442,2	307,1
10...15	100,8	265,6	227,8	198,1
15...20	64,5	71,7	179,2	105,1

воздуха ($r=0,83...0,91$) и наличием мерзлых пород на глубине 50...70 см. Практически ежегодно в течение вегетационного периода температура корнеобитаемого слоя (0...20 см) может опускаться ниже 5 °С из-за резких колебаний температуры воздуха, что оказывает негативное влияние на рост и развитие многолетних трав. Накопление малой суммы активных температур в 0,2-метровом слое песчаного грунта (198,1...307,1 °С) определяет необходимость включения в состав рекультивационной травосмеси холодостойких видов многолетних трав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихановский А.Н. Проблемы рекультивации нарушенных земель на Ямале // Международный форум «Рациональное природопользование». М.: Максима, 2005. С. 156–157.
2. Сурин Н.А., Зеленский В.М. Биологическая рекультивация нарушенных земель на Енисейском Севере // Вестник КрасГАУ. 2008. № 3. С. 83–88.
3. Масалкин С.Д., Храмцов И.Ф. Теория и практика сохранения и восстановления нарушенных ландшафтов Крайнего Севера. – Омск, 1991. – 133с.
4. Моторин А.С., Игловиков А.В. Особенности гидро-термических условий нарушенных грунтов Крайнего Севера в связи с их биологической рекультивацией // Аграрный вестник Урала. 2012. № 6. С. 66–70.
5. Трофимов В.Т. Карта устойчивости массивов пород криолитозоны к техногенным воздействиям // Вестн. Моск. ун-та. Серия 4. Геология. 1999. № 2. С. 51–61.
6. Андрияшкина Н.И. Состав растительных сообществ естественных и техногенно нарушенных экотопов на водоразделах Ямала: флористическое разнообразие // Экология. 2012. № 1. С. 22–26.
7. Васильевская В.Д., Кирилишин В.В. Антропогенные нарушения почвенного покрова и мероприятия по их предотвращению // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1993. № 4. С. 3–9.
8. Тыртыков А.П. Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. М.: Наука, 1979. 115 с.
9. Андроханов В.А., Артамонова В.С. Развитие теоретических основ рекультивации нарушенных земель в Сибири // Почвы в биосфере. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 294–297.
10. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 271с.
11. Сариев А.Х. Сеяные луговые формации при биологической рекультивации нарушенных земель на Енисейском Севере. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 109 с.

REFERENCES

1. Tikhanovsky A.N. Problems of reclamation of disturbed lands in Yamal // International Forum «Rational nature management». M.: Maxima, 2005. P. 156–157.
2. Surin N.A., Zelensky V.M. Biological reclamation of disturbed lands in the Yenisei North // Vestnik KrasGAU. 2008. № 3. С. 83–88.
3. Masalkin S.D., Khrantsov I.F. Theory and practice of conservation and restoration of disturbed landscapes of the Far North. Omsk, 1991. 133 с.
4. Motorin A.S., Iglonikov A.V. Features of hydrothermal conditions of disturbed soils of the Far North in connection with their biological reclamation // Agrarian Bulletin of the Urals. 2012. № 6. P. 66–70.
5. Trofimov V.T. Map of resistance of permafrost rock masses to technogenic impacts // Vestn. Moscow university. Series 4. Geology. 1999. № 2. S. 51–61.
6. Andreyashkina N.I. Composition of plant communities of natural and technogenically disturbed ecotopes on the Yamal watersheds: floristic diversity // Ecology. 2012. No. 1. S. 22–26.

7. Vasilievskaya V.D., Kirilishin V.V. Anthropogenic disturbances of the soil cover and measures to prevent them // Bulletin of Moscow State University. Series 17. Soil science. 1993. № 4. P. 3–9.
8. Tyrtikov A.P. Vegetation dynamics and development of permafrost landforms. M.: Nauka, 1979. 115 s.
9. Androkhanov V.A., Artamonova V.S. Development of the theoretical foundations for the reclamation of disturbed lands in Siberia // Soils in the biosphere. Novosibirsk: IPA SO RAN, 2018. P.294–297.
10. Korovin A.I. Plants and extreme temperatures. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 271 s.
11. Sariev A.Kh. Seeded meadow formations during biological reclamation of disturbed lands in the Yenisei North. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. 109 p.

Моторин Александр Севостьянович, доктор с.-х. наук, профессор, a.s.motorin@mail.ru (Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень).

УДК 626.862.94

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-1-28-34

НАДЕЖНОСТЬ БЕСПОЛОСТНОГО ДРЕНАЖА



В.И. ШТЫКОВ, А.Б. ПОНОМАРЕВ, Ю.Г. ЯНКО

Ключевые слова: бесполостный дренаж, размывающие скорости, кольматация, заиливание, надежность дренажа.

Keywords: pipeless drainage, eroding velocities, colmatage, silting, reliability of drainage.

Цель: на основе анализа выполненных теоретических, лабораторных и полевых исследований бесполостного дренажа как авторами данной статьи, так и другими исследователями установлены условия обеспечения надежности его работы в течение нормативного срока службы. **Методы:** анализ причин и количественная оценка поступления в наполнитель бесполостных дренажей частиц из окружающей дренажный грунт показал следующее. В случае защиты бесполостных дренажей от заиливания геотекстилем поступление частиц крупностью менее 0,05 мм обусловлено тем обстоятельством, что такие частицы относятся к кольматирующим и геотекстиль в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями должен их пропускать. Еще один источник их поступления это возможность образования фильтрационных деформаций на контакте наполнителя дренажа с окружающим грунтом при достижении в фильтрационном потоке величин скоростей, превышающих размывающие. Геотекстильные материалы, которые широко применяются в качестве защитно-фильтрующих, должны в весенний пе-

риод пропускать воду в дренаж даже находясь еще в мерзлом состоянии. **Результаты:** установлено, что при ламинарном режиме фильтрационные деформации в связанных грунтах на контакте наполнителя с окружающим дренажным грунтом в отсутствие вибродинамической нагрузки не происходят. В бесполостном дренаже, применяемом в промышленном и гражданском строительстве, а также в случае осушения сельскохозяйственных полей кольматирующие частицы, пропускаемые геотекстилем, уменьшают площадь поперечного сечения дренажа не более чем на 10%. При осушении бесполостным дренажем железнодорожного земляного полотна защитные части дренажа сверху нецелесообразно. При этом высота заиливающей части дренажа за 100 лет не превышает 10 см, что нужно учесть на стадии проектирования. В случае применения геотекстильных материалов в качестве защитно-фильтрующих их коэффициент водоотдачи μ должен быть $\geq 0,65$ при пористости $\geq 0,8$.

Purpose: Based on the analysis of the performed theoretical, laboratory and field studies of cavityless drainage, both the authors of this article and other researchers established the conditions for ensuring the reliability of its operation during the standard service life. **Methods:** analysis of the causes and quantitative assessment of the entry of silting particles into the pores of drains from the soil surrounding the drain showed, that in the case of protection of drains from silting with geotextiles, the inflow of particles smaller than 0.05 mm is due to the fact that such particles are colmatizing and geotextiles, in accordance with the requirements for it, must pass them. Another source of their entry is the possibility of formation of filtration deformations at the contact of the drain filler with the surrounding soil when the filtration flow reaches velocities exceeding the erosive ones. Geotextile materials, which are widely used as protective and filtering materials,

must pass water into the drainage in the spring, even while still in a frozen state. Results: it has been established that in the laminar regime, filtration deformations in cohesive soils at the contact of the filler with the soil surrounding the drain do not occur in the absence of vibrodynamic loading. In cavityless drainage used in industrial and civil construction, as well as in the case of draining agricultural fields, clogging particles let through by geotextiles reduce the cross-sectional area of drains by no more than 10%. When draining the railway subgrade by pipeless drainage, it is not advisable to protect the drain filler from above. At the same time, the height of the silted part of the drains does not exceed 10 cm for 100 years, which must be taken into account at the design stage. In the case of using geotextile materials as protective and filtering materials, their water loss coefficient μ should be ≥ 0.65 with porosity ≥ 0.8 .

Бесполостной дренаж находит все более широкое применение в промышленном и гражданском строительстве, а также в сельском хозяйстве [1–4]. Железнодорожники проявили к нему интерес при строительстве фильтрующих насыпей в районах с вечномерзлыми грунтами в связи с возможностями его использования для осушения земляного полотна одновременно увеличивающего его несущую способность [5].

Бесполостной дренаж имеет ряд преимуществ перед трубчатым. Бесполостному дренажу отдают предпочтение при строительстве в вечномерзлых, в том числе пучинистых грунтах [6]. В нем применяется один вид материала, имеется возможность создания распластанного сечения без существенного заглубления в основание, а также сочетать функции дрены с функцией мероприятия по повышению несущей способности осушаемого основания. Бесполостной дренаж является технологичным, экологичным и экономичным в случае наличия карьеров возле места строительства. Однако имеются и недостатки. Одним из них является невозможность промывки такого дренажа в случае его заиливания поступающими в заполнитель мелкими частицами грунта с потоком. Кроме того, движущийся в заполнителе бесполостной дрены поток может вызывать фильтрационные разрушения, имеющие характер размыва грунта на контакте с заполнителем дрены. Дополнительные требования возникают и к геотекстилю, если дренаж закладывается в зону сезонного промерзания.

Метод исследования. Целью статьи является установление на основе выполненных работ, как авторами статьи, так и другими исследователями, условий обеспечения надежности работы дренажа в течение нормативного срока службы.

Рассмотрим вначале вопрос с размывающими скоростями на контакте заполнителя бесполостных дрен при заложении их в связных грунтах.

Именно в связных (слабоводопроницаемых) грунтах наиболее перспективно применение бесполостного дренажа.

В работах В.Н. Жиленкова и Н.И. Шевченко [8, 9] показано, что контактный размыв в связных грунтах не происходит при ламинарном режиме. Исследованиями этих же авторов были установлены критерии контактного размыва при движении фильтрационного потока в крупнозернистых материалах на границе их соприкосновения со связными грунтами. В дальнейшем на основе многочисленных экспериментальных исследований по фильтрации в крупнозернистых заполнителях бесполостных дрен были получены формулы для критического числа Рейнольдса $Re_{кр}$, при котором режим фильтрации изменяется, и для расчета размывающих скоростей на границе фильтрационного потока со связным грунтом [10]:

$$Re_{кр} = 8,6n \sqrt{\frac{d_{17}}{d_u}},$$

в которой n – пористость; d_{17} – диаметр частиц заполнителя, меньше которого в его составе содержится 17 % частиц по массе, см; d_u – расчетное значение диаметра фильтрационного хода, см:

$$d_u = 0,57\sqrt[6]{\eta} \frac{n}{1-n} \frac{d_{17}}{\psi},$$

где $\eta = d_{60}/d_{10}$ – коэффициент неоднородности заполнителя; ψ – коэффициент формы частиц; d_{10} и d_{60} – диаметры частиц заполнителя, меньше которых в его составе содержится соответственно 10 и 60 % частиц по массе, см.

$$v_{пз} = 4,3 \cdot 10^4 \exp\left(-6,67 \frac{W_n}{W_T}\right) n v \sqrt{\frac{d_{17}}{d_u^3}},$$

где W_n – влажность грунта по массе при его полном насыщении, доли единицы; W_T – влажность грунта по массе на границе текучести, доли единицы.

Расчетная зависимость (3) была проверена на многочисленных лабораторных и полевых экспериментальных данных [10]. Анализ опытных данных показал, что можно гранулометрический состав заполнителя дрены подобрать таким образом, чтобы соблюдалось условие $v < v_{пз}$. Здесь v – максимальная скорость фильтрационного потока в пределах части бесполостной дрены. Если же это условие не выполняется, то в пределах этого участка по контакту заполнителя дрены с грунтом необходимо уложить геотекстиль.

Рассмотрим процесс заиливания заполнителя бесполостных дрен для двух случаев. В первом

случае мелкие частицы поступают в дрена сверху через геотекстиль как в процессе строительства, так и эксплуатации. Во втором случае, который характерен для дренажа в земляном полотне железных дорог заполнитель бесполостных дрен примыкает к балластной призме и в зоне примыкания укладывать геотекстиль нецелесообразно. Причины рассмотрим ниже.

В первом случае бесполостные дрена в слабодопроницаемых грунтах сверху присыпают фильтрующим грунтом. Известно, что в этом случае из контактной зоны дрен с засыпкой допускается вынос суффозионных частиц размером менее 0,05 мм. В соответствии с действующими нормами геотекстиль такие частицы должен пропускать. Допускаемый вынос 3...5% от объема выше расположенной засыпки. При средней глубине заложения дрены на сельскохозяйственных полях равной 1 м, высоте дрены 0,3 м и равномерном распределении вынесенных частиц в дрена по ее длине, высота рабочей части дрены уменьшится примерно на 10%, то есть не более чем на 3...4 см. Если же будет происходить перераспределение частиц по ее длине, то это будет приводить к изменению уклона дна дрены или к уменьшению живого сечения на отдельных участках, что будет способствовать снижению водоотводящей способности дрены. В связи с изложенным выше, прежде чем разрабатывать мероприятия по снижению отрицательных последствий от заиления дрен, целесообразно проанализировать характер изменения скорости фильтрации по их длине.

Изменение отношения v_h/v_s на свободной поверхности фильтрационного потока по длине бесполостной дрены при различных уклонах ее дна

№ вар.	Пределы изменения уклона дна i	Изменение v_h/v_s по длине бесполостной дрены
1	$i = 0$	
2	$0 < i < 2\sqrt{U}$	
3	$i = 2\sqrt{U}$	
4	$i > 2\sqrt{U}$	

На основе результатов гидравлических исследований движения воды в бесполостной дрене [11] было получено следующее уравнение, характеризующее отношение вертикальной составляющей скорости фильтрации v_h к горизонтальной v_s по длине дрены.

$$\frac{v_h}{v_s} = \left(i - t - \frac{U}{t} \right),$$

где i – уклон дна дрены; $t = h/s$ – угловой параметр мощности потока; h – глубина воды в дрене на расстоянии s от истока; $U = q'/(kb)$ – совокупный безразмерный параметр; q' – приток к дрене на единицу ее длины; b – ширина бесполостной дрены; k – коэффициент фильтрации при ламинарном режиме.

Из зависимости (4) следует, что отношение v_h/v_s зависит от уклона дна бесполостной дрены и углового параметра мощности потока $t = h/s$.

В таблице приведены эпюры изменения величин v_h/v_s по длине дрены при изменении уклона дрен i в функции от безразмерного параметра U . При нулевом уклоне дна, несмотря на то, что максимальная величина отношения v_h/v_s имеет место в истоке дрены, где горизонтальная составляющая скорости v_s очень мала, уменьшение высоты дрены в этом сечении за счет заиления практически не скажется на ее водоотводящей способности. Далее горизонтальная v_s и вертикальная v_h составляющие скорости фильтрации, а также отношение v_h/v_s возрастают по длине дрены, достигая максимума в ее устье. При этом отношение v_h/v_s в устье дрены будет несколько больше по сравнению с ее средней частью, что следует учитывать при назначении высоты дрены в устьевой части.

При изменении уклона дрены в пределах $0 < i < 2\sqrt{U}$ характер изменения эпюры отношения v_h/v_s практически не отличается от первого случая, поэтому все, что говорилось об интенсивности заиления и учета при назначении высоты дрены в устьевой части относится и к этому случаю. В двух последних случаях характер изменения эпюр также одинаков. В обоих случаях при приближении к устью слой наилка также будет увеличиваться. Глубина же фильтрационного потока будет уменьшаться, причем довольно существенно. Таким образом, в обоих случаях в качестве принимаемых мер будет достаточным начиная от середины дрены сохранять ее высоту постоянной (не смотря на уменьшение глубин воды в дрене по мере приближения к ее устью), а при гидравлических расчетах учитывать, что примерно на 10% может измениться и уклон дна рабочей части дрены, что тоже не окажет существен-

ного влияния на эффективность действия дрены и никаких промывок не потребуется.

Практически во всех закрытых дренажах в качестве защитно-фильтрующих материалов применяется геотекстильный материал, ассортимент которых с каждым годом растет.

В каких бы отраслях строительства (промышленное, гражданское, мелиоративное, гидротехническое, а также при строительстве автомобильных и железных дорог) геотекстиль не применялся, везде в требованиях указывается величина, ниже которой его коэффициент фильтрации не должен опускаться в течение срока службы. При этом имеется в виду не только уменьшение его коэффициента фильтрации вследствие колюматирования материала с течением времени, но и в связи с воздействием на него отрицательных температур, если дренаж попадает в зону сезонного промерзания. Но ни в одном нормативном документе, как в нашей стране, так и за рубежом, до последнего времени этот фактор не учитывался. А ведь в дренажах, например, в мелиорации, очень важным является своевременное вступление в действие того же бесполостного дренажа в ранневесенний период еще до достижения глубины оттаивания всей зоны заложения дрены. При этом коэффициент фильтрации геотекстильного материала в мерзлом состоянии в случае заложения бесполостного дренажа в слабоводопроницаемые грунты должен удовлетворять следующему условию [12]:

$$k_M \geq \frac{1,48k_n h_n}{S},$$

где k_M – коэффициент фильтрации геотекстильного материала в мерзлом состоянии, м/сут; k_n – коэффициент фильтрации корнеобитаемого слоя в талом состоянии, м/сут; h_n – мощность корнеобитаемого слоя, м; S – длина периметра контакта геотекстильного материала с фильтрующей засыпкой.

Если в слабоводопроницаемых грунтах бесполостная дрена прямоугольного сечения защищается только сверху, то S принимается равной ширине бесполостной дрены поверху.

Вычислив величину k_M , можно определить величину коэффициента водоотдачи μ , которым должен обладать геотекстильный материал [12, 13]:

$$k = k_T \frac{n_3 (\sqrt{\pi} - \sqrt{1-n_3}) (1-n) d_p'^2}{n (\sqrt{\pi} - \sqrt{1-n})^2 (1-n_3) d_p^2};$$

$$n_3 = n \frac{W \rho_r}{\rho_l};$$

$$d_p' = \frac{d_p}{\sqrt{1 - \frac{4W \rho_r}{\pi \rho_l}}};$$

$$\mu = n - \frac{W \rho_r}{\rho_B},$$

где k_T – коэффициент фильтрации геотекстильного материала в исходном состоянии, м/сут; n_3 – эффективная пористость геотекстильного материала, доли единицы; n – пористость геотекстильного материала в исходном состоянии, доли единицы; d_p и d_p' – диаметры волокон геотекстиля, соответственно в исходном и замороженном состоянии, см; W – влажность геотекстильного материала по массе перед промерзанием; ρ_r – плотность геотекстильного материала, г/см³; ρ_l – плотность льда, г/см³; ρ_B – плотность воды, г/см³.

Как уже говорилось выше, к сожалению, коэффициент водоотдачи геотекстильных материалов не приводится в их паспортных данных и его приходится определять в лабораторных условиях. В Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I такая методика разработана. По результатам исследований для укладки в железнодорожный путь в качестве разделительного слоя рекомендовано применять геотекстильный материал с коэффициентом водоотдачи равным $\geq 0,65$ при пористости $\geq 0,8$ [12].

Отдельно следует остановиться на обеспечении надежности работы бесполостных дрена при заложении их в железнодорожное земляное полотно. Рассмотрим случай, когда сверху бесполостная дрена не перекрывается геотекстилем (рис. 1). Как следует из рисунка, с боков и со стороны дна в качестве разделительного слоя (одновременно это мероприятие по предотвращению контактных размывов) прокладывается геотекстиль даже в связных грунтах. Обусловлено это вибродинамической поездной нагрузкой. Отсутствие защиты сверху способствует беспрепятст-

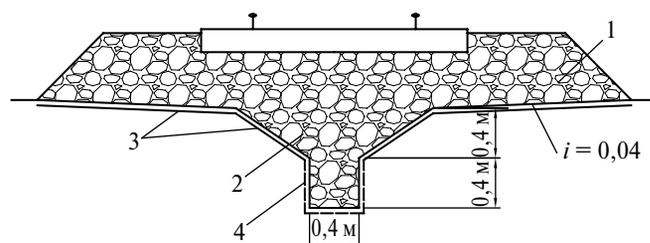


Рис. 1. Бесполостная дрена, уложенная в железнодорожное полотно:

- 1 – балластная призма; 2 – бесполостная дрена;
- 3 – водонепроницаемый геоматериал; 4 – геотекстиль

венному поступлению мелких частиц крупностью менее 0,16 мм в наполнитель бесполостных дрен.

Из практики известно, что любые твердые тела подвержены истираемости при взаимодействии с подобными телами при условии, что тела вовлечены в колебательный процесс. Чтобы получить ответ на вопрос: сколько и какой крупности частицы образуются на путях 1-го и 2-го классов за период наработки тоннажа 350 млн. т. брутто, в лабораторных условиях с помощью вибропресса был смоделирован процесс воздействия вибродинамической поездной нагрузки за период нормативного срока службы геотекстиля (30 лет) [12]. На рис. 2 показана фотография кольматирующих частиц, выполненная на электронном микроскопе ИГГД РАН.

На рис. 3 представлен гранулометрический состав этих частиц. Из гистограммы следует, что частиц крупностью менее 0,05 мм довольно много и все они даже в случае защиты наполнителя бесполостной дренажной геотекстилем попадут внутрь ее и отложатся на его поверхности, резко снижая фильтрационные свойства.

Таким образом, если дренажная геотекстиль не перекрывается, то все образующиеся над бесполостной дренажной частицы будут откладываться на ее дно. В результате исследований было установлено, что при ширине бесполостной дренажной по дну, равной 0,4 м это будет соответствовать уменьшению высоты рабочей части дренажной примерно на 10 см за 100 лет. Это все несложно

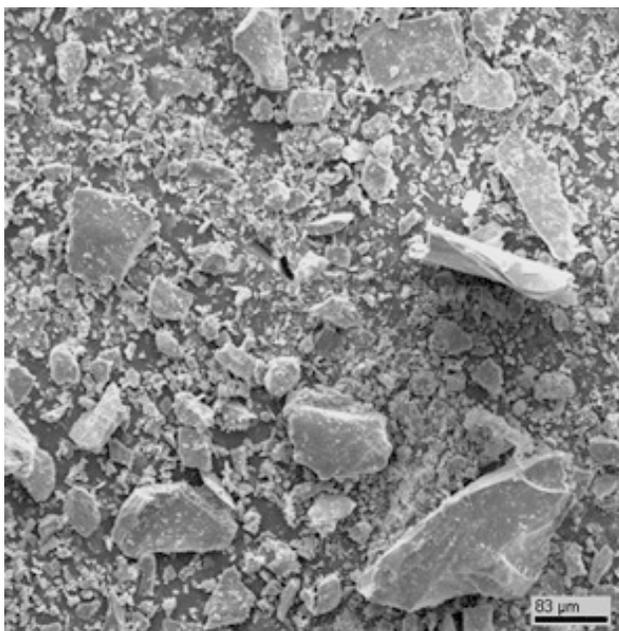


Рис. 2. Фотография частиц истирания щебня, проба взята на действующем участке железной дороги. Остаток после сита 0,16 мм

учесть на стадии проектирования при гидравлическом расчете бесполостной дренажной. Из изложенного выше следует, что защищать бесполостную дренажную геотекстилем сверху в рассматриваемом случае нецелесообразно.

Результаты и выводы. Чтобы бесполостной дренажной успешно выполнял свои функции в течение нормативного срока службы необходимо обеспечить выполнение следующих условий (требований).

При ламинарном режиме в отсутствии вибродинамической нагрузки в связных грунтах контактные размывы на границе с крупным наполнителем в бесполостных дренажных не возникают. Получена формула для определения критического числа Рейнольдса $Re_{кр}$. И если число Re в любом живом сечении бесполостной дренажной $\leq Re_{кр}$, то никаких мероприятий по защите от заиления не требуется. Если число Рейнольдса $> Re_{кр}$, то по предлагаемой в статье формуле необходимо определить размывающую скорость $v_{рз}$, которая по величине должна быть меньше действительной скорости v фильтрации в любом живом сечении бесполостной дренажной. Если это условие не соблюдается, т. е. $v > v_{рз}$, то между наполнителем дренажной и окружающим ее грунтом геотекстиль прокладывается по всему периметру.

При заложении бесполостных дренажных в железнодорожное земляное полотно из-за постоянно действующей вибродинамической поездной нагрузки, независимо от величины скорости в бесполостной дренажной наполнитель защищается со стороны дна и с боков, так как из-за вибродинамической нагрузки будет происходить взаимопроникновение грунта в наполнитель и наоборот.

В дренажах, применяемых в промышленном и гражданском строительстве, а также в сельском хозяйстве, нормами допускается вынос частиц крупностью $\leq 0,05$ мм через геотекстиль в дре-

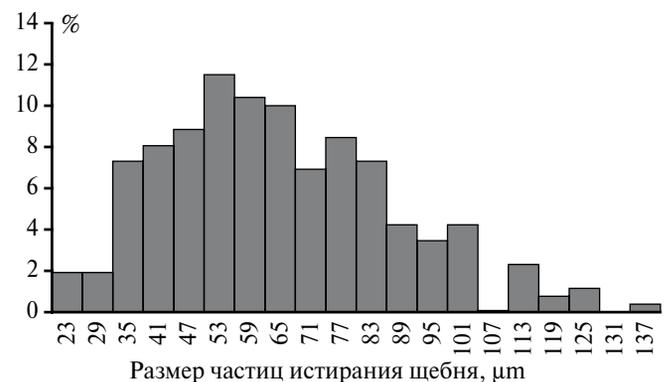


Рис. 3. Гистограмма распределения частиц истирания щебня по размерам для одного из образцов

ну из засыпки от 3 до 5 % от ее объема, расположенного выше геотекстиля, защищающего дренаж сверху. При этом высота рабочей части бесполостной дрены при заложении ее в среднем на глубину 1 м составит 3...4 см. Перераспределение частиц по длине дрены из-за увеличения вертикальной составляющей скорости начинается в основном с середины дрены по направлению к устью и в качестве мероприятия, учитывающего увеличение толщины слоя откладывающихся частиц, достаточно сохранять высоту слоя заполнителя дрены постоянной до самого устья.

Изменение уклона дрены при этом не будет превышать также 10 %. Все эти изменения не сложно учесть на стадии проектирования.

В случае применения бесполостных дрен для осушения железнодорожного земляного полотна, защищать заполнитель дрены геотекстилем сверху нецелесообразно. Мелкие частицы крупностью менее 0,16 мм, образующиеся в балластной призме в результате истирания щебня под воздействием вибродинамической поезда нагрузки за 100 лет, отложатся слоем не более 10 см, что также должно учитываться на стадии проектирования.

В случае использования геотекстильного материала в качестве защитно-фильтрующего в закрытых дренажах, а также разделительного слоя к необходимости предъявления к нему требований пропуска талых вод к дренажу в весенний период, коэффициент водоотдачи геотекстиля μ должен быть не менее 0,65 при исходной пористости $\geq 0,8$.

При выполнении рекомендуемых требований бесполостной дренаж будет выполнять свои функции в течение нормативного срока службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штыков В.И., Козлова А.В. Гидравлический расчет бесполостного пластового дренажа при грунтовом напорном питании // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 247. С. 84–90. EDN IBWIZP.
2. Штыков, В.И., Янко Ю.Г. Бесполостной дренаж периодического профиля // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 4. С. 35–37. EDN MUTSEV.
3. Обоснование технических решений по подавлению гидроразрыва основания при строительстве котлована хранилища нефтепродуктов / С.В. Сольский, О.И. Новицкая, М.Г. Лопатина, А.Г. Матвеева // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2012. Т. 265. С. 81–91. EDN PJWTXB.
4. Руководство по мелиорации полей / Г.Г. Гулюк, Ю.Г. Янко, В.И. Штыков [и др.]. СПб.: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2020. 219 с. DOI 10.25695/k9292-1099-3543-i. EDN MBGJQS.
5. Blazhko L.S., Shtykov V.I., Chernyaev E.V. Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay)

Soils // Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017), Saint Petersburg, 17–19 мая 2017 г. Saint Petersburg, 2017. P. 710–715. DOI 10.1016/j.proeng.2017.05.112. EDN XMYQXF.

6. Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A., Shtykov V.I. Influence of soil freezing on density // Russian Meteorology and Hydrology. 2001. No 3. P. 69–77. EDN LGNILZ.

7. Инженерная биология: учебник / Ю.И. Сухоруких, Б.С. Маслов, К.Н. Кулик [и др.]. – 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. 344 с. EDNZCGEАН.

8. Жиленков В.Н., Шевченко Н.И. Гидродинамические условия контактного размыва глинистых грунтов фильтрационным потоком // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1980. Т.144. С. 11–19.

9. Жиленков В.Н., Шевченко Н.И. О сопротивляемости глинистых грунтов контактному размыву фильтрационным потоком // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1981. Т. 146. С. 55–67.

10. Штыков В.И., Пономарев А.Б., Янко Ю.Г. О расчете размывающих скоростей при проектировании фильтрующих сооружений в связных грунтах // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2021. Т. 18. № 2. С. 303–312. DOI 10.20295/1815-588X-2021-2-303-312. EDN OVRLC.

11. Штыков В.И., Гордиенко С.Г. Бесполостной дренаж: Гидравлическое обоснование, расчет и эффективность действия. – СПб.: ОАО ПП-3, 1997. 224 с. EDN ZIWSFB.

12. Shtykov V.I., Blazhko L.S., Ponomarev A.B. The Performance of Geotextile Materials Used for Filtration and Separation in Different Structures as an Important Part of Geotextiles Requirements // Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017), Saint Petersburg, 17–19 мая 2017 г. Saint Petersburg, 2017. P. 247–251. DOI 10.1016/j.proeng.2017.05.039. EDN XMZLCI.

13. Блажко Л.С., Черняев Е.В. Внутреннее загрязнение балластного слоя при имитации вибродинамической поезда нагрузки // Конструкция железнодорожного пути и вопросы технического обслуживания высокоскоростных магистралей: сборник научных трудов международного научно-практического семинара, Санкт-Петербург, 3–4 июня 2010 г. / Под ред. проф. Л.С. Блажко. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2010. С. 66–71. EDNTDBFZB.

REFERENCES

1. Shtikov V.I., Kozlova A.V. Hydraulic calculation of pipelesslayer drainage with ground pressure water supply. Proceedings of the VNIIG. 2007. Vol. 247. P. 84–90 (in Russian).
2. Shtikov V.I., Yanko Yu.G. Pipeless drainage of a periodic profile. Melioration and Water Management, 2009, no. 4, p. 35–37 (in Russian).
3. Solsky S.V., Novitskaya O.I., Lopatina M.G., Matveeva A.G. Substantiation of technical solutions for the suppression of hydraulic fracturing of the base during the construction of the pit of the storage of petroleum products. Proceedings of the VNIIG, 2012, vol. 265, pp. 81–91 (in Russian).
4. Gulyuk G.G., YankoYu.G., Shtikov V.I. et al. Field Reclamation Guide. St. Petersburg, SPbPU, 2020, 219 p. ISBN 978-5-905200-41-0. DOI 10.25695/k9292-1099-3543-i
5. Blazhko L.S., Shtykov V.I., Chernyaev E.V. Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils. Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017), Saint Petersburg, 17–19 мая 2017. Saint Petersburg, 2017. P. 710–715. DOI 10.1016/j.proeng.2017.05.112.

6. Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A., Shtykov V.I. Influence of soil freezing on density. Russian Meteorology and Hydrology. 2001. No 3. P. 69–77.

7. Sukhorukikh Yu.I., Maslov B.S., Kulik K.N. et al. Engineering biology, St. Petersburg, Publishing House Lan, 2017, 344 p. ISBN 978–5-8114–1966–1

8. Zhilenkov V.N., Shevchenko N.I. Hydrodynamic conditions of contact erosion of clayey soils by filtration flow. Proceedings of the VNIIG, 1980, vol. 144, pp. 11–19 (in Russian).

9. Zhilenkov V.N., Shevchenko N.I. On the resistance of clay soils to contact erosion by filtration flow. Proceedings of the VNIIG, 1981, vol. 146, pp. 55–67 (in Russian).

10. Shtikov V.I., Ponomarev A.B., Yanko Yu.G. On the calculation of erosive velocities in the design of filter structures in cohesive soils. Proceedings of Petersburg Transport University, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 303–312. DOI 10.20295/1815–588X-2021–2–303–312. (in Russian)

11. Shtikov V.I., Gordienko S.G. Pipeless Drainage: Hydraulic Rationale, Calculation and Efficiency, St. Petersburg, OJSCPP-3, 1997, 224 p.

12. Shtykov V.I., Blazhko L.S., Ponomarev A.B. The Performance of Geotextile Materials Used for Filtration and Separation in Different Structures as an Important Part of Geotextiles Requirements. Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017), Saint Petersburg, 17–19 may 2017. Saint Petersburg, 2017. P. 247–251. DOI 10.1016/j.proeng.2017.05.039.

13. Blazhko L.S., Chernyaev E.V. Internal contamination of the ballast layer when simulating a vibrodynamical train load. Proc. of the International Sci. and Practical Seminar, PGUPS. St. Petersburg, 2010, pp. 66–71. (in Russian)

Штыков Валерий Иванович, доктор техн. наук, профессор, vvig@pgups.ru; **Пономарев Андрей Борисович**, канд. техн. наук, доцент, pol1not@yandex.ru (ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); **Янко Юрий Григорьевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, yanko@agrophys.ru (ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт).

УДК 627.83

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-1-34-39

НАЗНАЧЕНИЕ И КОМПОНОВОЧНО-КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ БАГАЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА



В.Н. ШКУРА, А.В. ШЕВЧЕНКО

Ключевые слова: речной гидроузел, комплексное водопользование, водохозяйственное обоснование гидроузла, сооружения гидроузла.

Keywords: river waterworks, integrated water use, water management justification of the waterworks, waterworks structures.

Приведены сведения, обосновывающие целесообразность и условия создания Багаевского гидроузла на реке Дон. Дано обоснование и описание принятого компоновочного решения гидроузла и конструктивного исполнения сооружений, обеспечивающих его функционирование. По результатам технического обоснования проекта разработано рациональное решение Багаевского гидроузла, обеспечивающего свое предназначение и разноотраслевое использование водно-ресурсного потенциала реки Дон.

The information justifying the expediency and conditions for the creation of the Bagaevsky waterworks on the Don River is given. The justification and description of the adopted layout solution of the waterworks and the structural design of the structures ensuring its functioning are given. Based on the results of the technical justification of the project, a rational solution has been developed for the Bagaevsky waterworks, which provides its purpose and diversified use of the water resource potential of the Don River.

Введение. Современная парадигма природопользования предусматривает повышение эффективности, рациональности и комплексности использования водных ресурсов при обеспечении требований охраны окружающей среды. В настоящее время, при все возрастающих объемах отраслевого водопользования, проявляется дефицит водных ресурсов, характерный для рек южного склона территории Российской Федерации. Так, на Нижнем Дону в последние десятилетия обострилась проблема обеспечения водными ресурсами водопотребляющих отраслей хозяйствования (орошения, рыбоводства, водного транспорта, коммунального и промышленного водоснабжения, водных рекреаций и др.). Сложившееся и деградирующее состояние водной экосистемы Нижнего Дона определили необходимость принятия соответствующих мер. Их состав и реализация предусматриваются Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2012-р от 21 июля 2021 г. «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон» [1]. Одним из мероприятий, предусмотренных «Распоряжением» является строительство низконапорного Багаевского гидроузла на р. Дон. Создание указанного гидроузла обеспечит более высокий уровень регулирования водного стока реки и ее шлюзование.

Отметим, что проблема шлюзования (устройства каскада гидроузлов на р. Дон), осуществляе-

мого преимущественно в целях улучшения (обеспечения) условий судоходства имеет давнюю (более чем столетнюю) историю. Первые технически обоснованные (проектные) предложения по устройству каскада гидроузлов на р. Дон были сделаны Н.П. Пузыревским в 1911 г. [2]. В процессе реализации, предложенной им (и в последующем уточнявшейся), схемы на Нижнем Дону был построен каскад из четырех гидроузлов (включающий Цимлянский, Николаевский, Константиновский и Кочетовский), схема расположения которых проиллюстрирована ниже на рис. 1.

Дальнейшее шлюзование реки предлагается осуществлять, реализуемым в настоящее время, строительством Багаевского гидроузла по проекту АО «Акватик» [2, 3]. Вопросы целесообразности устройства гидроузла неоднозначно рассматриваются и оцениваются специалистами [3–5], что предопределяло необходимость особо тщательного и разностороннего подхода к разработке его компоновочно-конструктивного решения. В разработке обоснований компоновки гидроузла и технических решений, входящих в его состав рыбохозяйственных сооружений, принимали непосредственное участие авторы настоящей статьи, что и предопределило основную направленность ее содержания, заключающуюся в обосновании создания и разработке компоновочно-конструктивного решения Багаевского гидроузла на реке Дон.

Материалы и методы. Эмпирическую базу для обоснования целесообразности создания и компоновочно-конструктивного решения низконапорного Багаевского гидроузла и конструктивного исполнения входящих в его состав сооружений составили данные по гидрологическим, водохозяйственным, рыбоветческим, топографическим и др. условиям его устройства и функционирования.

Результаты и обсуждение. Основное функциональное предназначение строящегося гидроузла – обеспечение необходимых судоходных глубин на участке водно-транспортного пути между Багаевским и Кочетовским гидроузлами в условиях острого дефицита водных ресурсов. Учитывая особую рыбохозяйствен-

ную значимость реки Дон, на гидроузле должны быть созданы условия для беспрепятственного прохода рыб вверх по реке в процессе их анадромно-нерестовых миграций и условия для нереста подготовленных к репродукционному процессу производителей рыб [6]. При этом необходимо минимизировать площади затопления и подтопления поймы реки Дон [7–9].

Створ гидроузла выбран на участке реки между хутором Арпачин и станицей Манычской, характеризующийся наличием острова Белый, что позволяло реализовать «островную» схему его последующего строительства.

В процессе анализа гидрологических, водохозяйственных и топографических условий функционирования гидроузла и рассмотрения ряда вариантов, за расчетную отметку уровня воды в верхнем бьефе принята отметка равная 2 мБС. Создаваемый подпор уровней воды, характеризующийся указанной отметкой, обеспечивал необходимые условия для судоходства и соответствовал минимуму затопления и подтопления территории [3, 5].

Создание гидроузла позволяет получить экономию объемов воды, сбрасываемой из Цимлянского водохранилища в течение навигационного периода ($T_{нав} = 244$ сут), для обеспечения судоходства. Необходимые глубины в русле реки Дон, при его функционировании, будут обеспечиваться при расходах, составляющих – 250 м³/с, а не при – 430 м³ судоходных попусков, необходимых в настоящее время. Объем экономии водного ресурса на обеспечение интересов водного транспорта составит – 3,79 км³, который может быть использован для других целей, например, для орошения земель и (или) реализации рыбохозяйственных попусков.

При соответствующем новым условиям изменении режима функционирования ГЭС и водосброса Цимлянского гидроузла в период нересто-

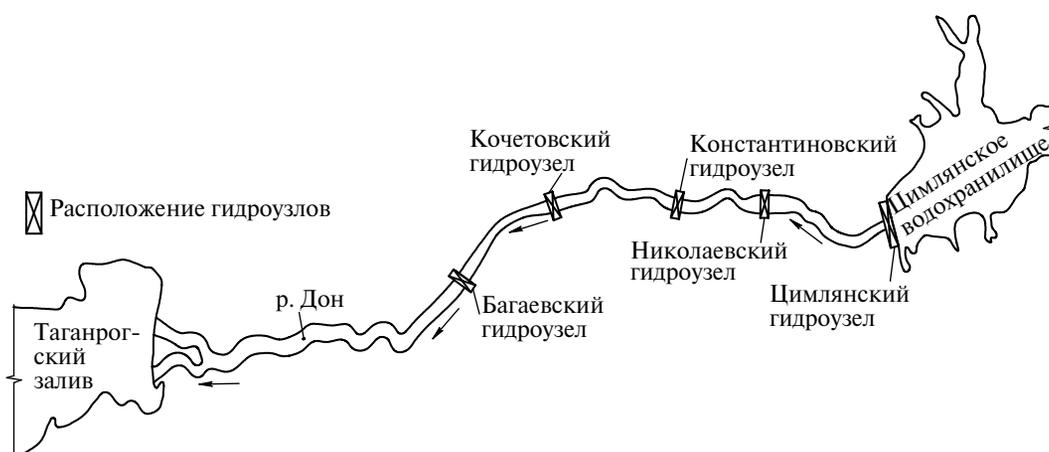


Рис. 1. План-схема расположения гидроузлов на р. Дон

вого хода (апрель-май) предлагается осуществлять нерестовый попуск расходом — $1000 \text{ м}^3/\text{с}$, при последующем (во вненерестовый период) его снижении до — $230 \text{ м}^3/\text{с}$. При расходе воды — $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ все гидроузлы могут функционировать в безнапорном («бесподпорном») режиме, то есть при свободном протекании водного потока в пределах русла р. Дон. Это позволит создать условия для свободного прохода по реке рыб и их нереста на русловых нерестилищах. Экономия воды на обеспечение потребностей судоходства позволяет в средне- и высоководные годы осуществлять периодические (один раз в два-три года) нерестовые выпуски с затоплением пойменных нерестилищ («донских займищ»). Возможность получения «судоходной» экономии объемов воды позволяет повысить обеспеченность водными ресурсами ряд Нижне-Донских оросительных систем.

Одним из определяющих компоновочно-конструктивное решение речного гидроузла требований, является требование обеспечения интересов рыбного хозяйства — охраны ихтиофауны и создания условий для естественного воспроизводства водных биоресурсов. Указанная задача предусматривает создание условий для свободного (беспрепятственного) прохода проходных и полупроходных видов рыб к местам нереста и возможностей для нереста подготовленных к репродукционному процессу их производителей.

В процессе рассмотрения ряда компоновочных решений гидроузла, объединяющего несколько сооружений разно-функционального назначения, выбран вариант их компоновки, проиллюстрированный на рис. 2.

В соответствии с рис. 2, в состав гидроузла включены: шестипролетная паводковая плотина-

на (с шириной пролета — $b_{\text{пр}} = 20 \text{ м}$); шестипролетный водосброс-регулятор; двухниточный судоходный шлюз; рыбопропускной шлюз; рыбоходный канал с системой нерестовых прудков; регулятор, обеспечивающий экологическую проточность на участке старого русла.

С учетом того факта, что р. Дон определяется водным объектом высшей категории рыбохозяйственного значения, при разработке технического обоснования компоновочно-конструктивного решения гидроузла особое внимание было уделено разработке рыбоводных («рыбохозяйственных») и других, оказывающих влияние на условия обитания рыб, сооружений.

Так, при разработке водосбросных сооружений учтено требование о необходимости создания условий для свободного прохода рыб через водоподпорный створ гидроузла при его функционировании в безнапорном режиме. Для обеспечения этих условий предусмотрено устройство широкого водосбросного («водопроточного») фронта, превышающего размеры русла реки при пропуске расходов, превышающих — $600 \text{ м}^3/\text{с}$. При таком решении перепад уровней воды между бьефами гидроузла не превышает — $0,06 \text{ м}$, что исключает создание скоростного (для рыб) барьера в створе сооружений гидроузла при его функционировании в безнапорном режиме. Свободному проходу рыб способствует конструктивное решение водосливного порога, выполненного в виде горизонтальной железобетонной плиты, отметка поверхности которой принята на уровне отметки дна р. Дон в бытовых условиях. При таком техническом решении исключается необходимость для придонно-перемещающихся рыб (в частности, для осетровых) изменения горизонта плавания при проходе через створное пространство плотин гидроузла.

Для пропуска рыб, перемещающихся в срединно-русловой части р. Дон предусмотрено устройство рыбопропускного шлюза, расположенного между паводковой плотинной и водосбросом-регулятором (см. рис. 2). Конструкция шлюза (рис. 3), в отличие от известных, предусматривает обеспечение непрерывного режима привлечения и накопления рыб, что обеспечивается устройством

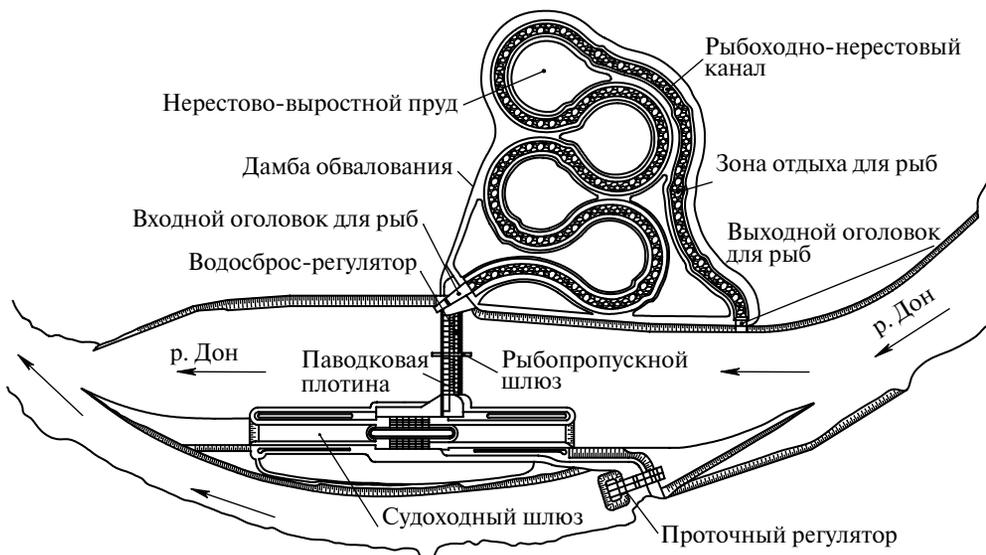


Рис. 2. Компоновочная схема Багаевского гидроузла на р. Дон

дополнительного блока питания. При совместной работе основного и дополнительного блоков питания в зоне распространения исходящего из шлюза водного потока, формируются стабильные гидравлические условия привлечения рыб и возможности их накопления в рыбонакопителе в процессе шлюзования (перевода в верхний бьеф реки). Принятое техническое решение позволяет осуществлять до 16...24 циклов шлюзования рыб в сутки, что в 2...3 раза превышает количество таковых на действующих аналогах, что, в свою очередь, повышает рыбопропускную способность сооружения.

На гидроузле предусмотрено устройство рыбоходно-нерестового канала, предназначенного для пропуска рыб, мигрирующих вдоль правобережной части русла реки. Рыбоходно-нерестовый канал рассчитан на пропуск расхода в 100...110 м³/с, что составляет 40% от общего расхода реки в меженный период. Средняя скорость течения водного потока по тракту канала 0,895 м/с, что соответствует скоростям плавания практически для всех мигрирующих в створе гидроузла проходных, полупроходных и туводных видов рыб. Поперечное сечение канала принято трапецеидальны и характеризуется: глубиной $h_k = 2,5$ м, шириной по дну $b_k = 36$ м, заложением откосов $m_k = 1:3,5$ и протяженностью $L_k = 5350$ м. Дно и откосы канала покрываются слоем галечно-гравийной смеси, обеспечивающей закрепление его русла от деформаций и являющейся нерестовым субстратом для литофильных видов рыб (белуги, осетра, севрюги, стерляди, рыба, шемай).

Канал имеет меандрическую форму (рис. 4), что не только обеспечивает его компактность, но и позволяет формировать разноскоростную структуру течений в плане и по глубине. При таком решении скорость потока в тракте составляет $v_{кр}' = 0,895 \pm 0,15$ м/с, что позволяет рыбам с разной плавательной способностью выбирать наиболее приемлемые для них зоны (трассы) перемещения или нереста. Учитывая значительную протяженность тракта канала, по его длине предусмотрено устройство зон отдыха для рыб с меньшими скоростями течения и большими объемами жизненного (акваториального) пространства. Нерестовая площадь тракта для литофилов составляет – 24,9 га, а для ре-

офилов – 28,6 га. В межмеандровом пространстве площадью – 32,4 га предусмотрено устройство нерестово- подроствных прудков для нереста фитофильных видов рыб (леща, судака, сазана и др.). Прудки обустроиваются соответствующими условиями для нереста фитофилов, развития репродукционного продукта, подращивания молоди и обустроены сооружениями для регулирования водного режима, впуска и выпуска рыб.

Техническое решение гидроузла предусматривает широкий спектр возможностей для управления сбросом расходов воды через пролеты паводковой плотины, водосброса-регулятора и проточного водовыпуска (регулятора) в целях оптимизации условий работы рыбопропускного шлюза и рыбоходно-нерестового канала. Это позволяет прогнозировать высокие значения показателя качества условий для привлечения и пропуска рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний, что подтверждается нижеприведенным расчетом.

Расчет показателя качества условий для пропуска рыб через створ гидроузла $\Pi_{к/у}$ при его работе в подпорном режиме выполнен по зависимости, учитывающей гидрометрические параметры рыбопропускных сооружений и потока в нижнем бьефе гидроузла:

$$\Pi_{к/у} = 100 \frac{Q_c}{Q_p} \left(\frac{v'_{пр}}{v'_p} \right)^{0,5} \left[1 - |v_{кр} - v_{пр}|^{0,5} \right] \left(1 + 5 \frac{B_c}{B_p} \right)^{0,5} \times \left[1,2 - 0,1 \frac{L_{уд} - L_{з/п}}{L_{з/п}} \right], \quad (1)$$

где $\Pi_{к/у}$ – показатель качества гидрометрических условий в нижнем бьефе гидроузла для привлечения рыб в рыбопропускное сооружение, %; Q_c – расход пото-

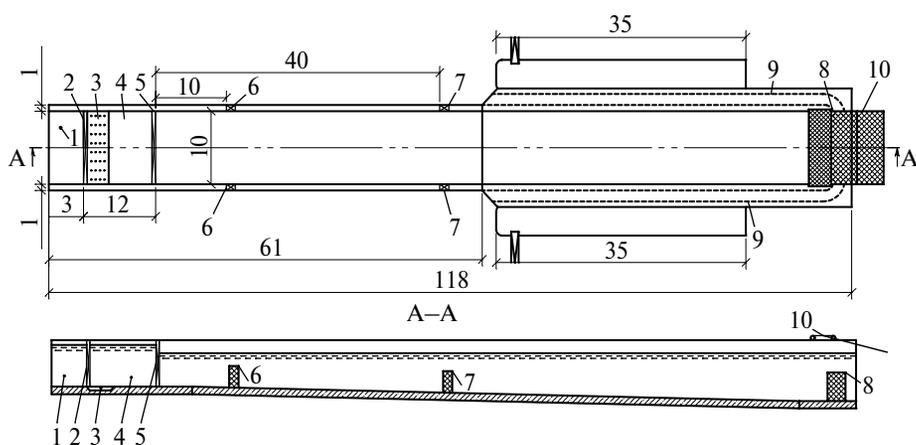


Рис. 3. Конструктивная схема рыбопропускного шлюза Багаевского гидроузла на р. Дон:

- 1 – участок выхода рыб; 2 – затвор верховой; 3 – площадка осмотра рыб;
- 4 – камера шлюзования; 5 – затвор низовой; 6, 7, 8 – отверстия блока питания; 9 – галереи блока питания; 10 – побуждающее устройство

ка, истекающего в реку из рыбопропускного сооружения (рыбопропускного шлюза и (или) рыбоходно-нерестового канала), m^3/c ; Q_p – расход водного потока реки, протекающего по нижнему бьефу гидроузла в створе входа рыб в рыбопропускное сооружение, m^3/c ; $v_{пр}'$ – среднее значение скорости привлекающего рыб водного потока на входном створе в оголовок рыбопропускного сооружения, m/c ; v_p' – средняя по живому сечению скорость речного потока в створе, соответствующем входу рыб в рыбопропускное сооружение, m/c ; $v_{кр}$ – крейсерская скорость плавания мигрирующих рыб в реке, m/c ; B_c – ширина входного оголовка рыбопропускного сооружения, m ; B_p – ширина речного потока в створе входа мигрирующих по реке на нерест рыб в оголовки рыбопропускного сооружения, m ; $L_{уд}$ – удаленность створа входного сечения рыбопропускного сооружения от верхней границы зоны поиска рыбами прохода через препятствие, m ; $L_{з/п}$ – протяженность зоны поиска мигрирующими на нерест рыбами прохода через препятствие (от верхней границы зоны до нижней), m ;

Исходные данные и результаты расчета значений показателей качества условий для пропуска рыб через створ гидроузла приведены в таблице.

В соответствии с расчетом, выполненным по (1), прогнозируемые значения качества условий для привлечения рыб в рыбопропускные сооружения $\Pi_{к/у}$ составят: для расхода гидроузла $Q_p = 250 m^3/c - \Pi_{к/у} = 27 + 65,6 = 92,6 \%$, а для $Q_p = 400 m^3/c - \Pi_{к/у} = 22,9 + 37,6 = 60,5 \%$.

Судя по полученным значениям показателя качества условий, для наиболее реальных расхо-

дов гидроузла прогнозируется пропуск через створ гидроузла от 60,5 до 92,6 % от подходящего к нему количества рыб.

Заключение. В современных условиях аридного климата Юга Российской Федерации, актуальной проблемой является все возрастающий дефицит водных ресурсов, используемых в целях удовлетворения потребностей сельского, рыбного, коммунального хозяйства, водного транспорта, рекреаций и энергетики. При сложившемся остром недостатке в обеспечении водными ресурсами различных отраслей экономики, все большее распространение получает строительство гидроузлов на средних и крупных реках. Одним из таких проектов, реализуемых в настоящее время, является строительство и последующая эксплуатация низконапорного Багаевского гидроузла на р. Дон. Устройство указанного сооружения предусмотрено с целью повышения и регулирования водности реки Дон, на участке ниже Кочетовского гидроузла, а также удовлетворения потребностей водного транспорта, орошения, рыбоводства и других направлений использования водно-ресурсного потенциала Нижнего Дона.

При создании речных гидроузлов предусматривается обеспечение природоохранных мероприятий различного уровня важности, среди которых особое значение придается созданию условий для беспрепятственного (свободного) прохода проходных, полупроходных и туводных видов рыб

через створ гидроузла и (или) их нереста в пригидроузловом рыбоводном комплексе. Применительно к Багаевскому гидроузлу на р. Дон эта задача решена посредством устройства в его составе рыбопропускного шлюза и рыбоходно-нерестового канала с системой разных по размеру нерестово-выростных прудков и возможностью обеспечения прохода рыб через водобросной фронт гидроузла (функционирующего в безнапорном режиме) со скоростями течения водного потока, оптимальными для большинства мигрирующих на нерест по руслу реки представителей рыбной ихтиофауны.

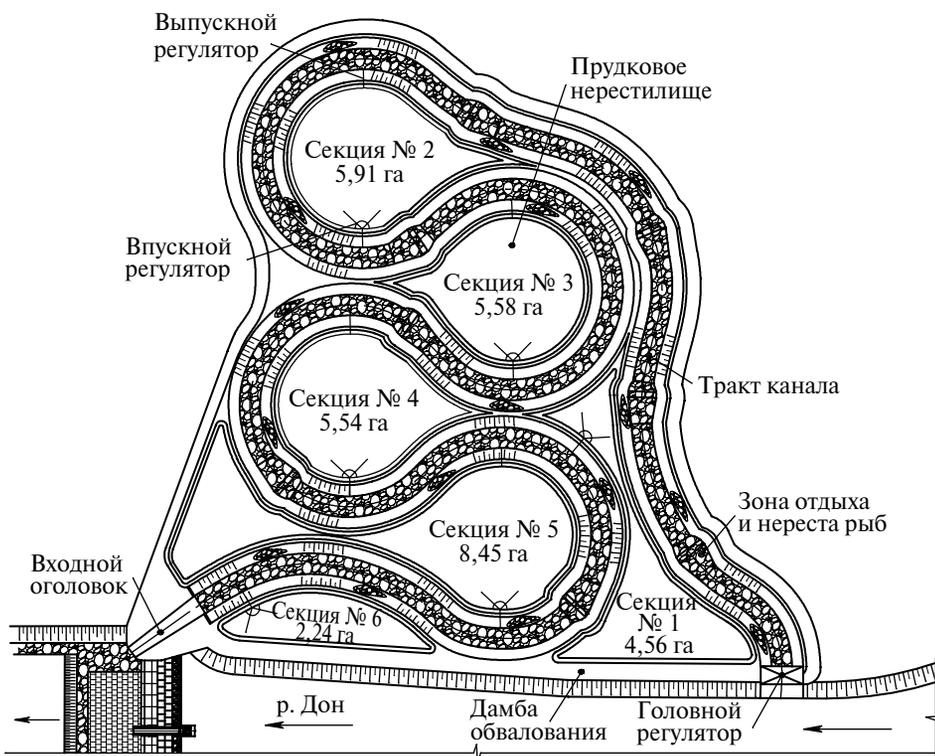


Рис. 4. Схема рыбоходно-нерестового канала Багаевского гидроузла на р. Дон

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 21 июля 2021 г. № 2012-р. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».

2. Лендов В.Г. Сооружение № 1 на Дону. Новая жизнь Кочетовского гидроузла / Под ред. Н.Г. Смирнова. М.: Вестник транспорта, 2009. 215 с.

3. Шурухин Л.А., Пантина Т.А. Проект строительства Багаевского гидроузла, как элемента единой глубоководной системы внутренних водных путей Европейской части России // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 5(72). С. 69–72.

4. Кривошей В.А. О проекте Багаевского гидроузла // Астрахан. вестн. экол. образования. 2016. № 2(36). С. 76–80.

5. Дубинина В.Г., Жукова С.В. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы Нижнего Дона // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 20–30.

6. Гайдаев С.К. Рыбоводные сооружения низконапорного Багаевского гидроузла на реке Дон // Гидротехника. 2019. № 2 (55). С. 22–25.

7. Гидравлическое обоснование проекта Багаевского гидроузла с применением численного гидродинамического моделирования / В.В. Беликов, Н.М. Борисова, А.И. Алексюк, А.Б. Румянцев, А.В. Глотко, Л.А. Шурухин // Гидротехническое строительство. 2018. № 5. С. 19–35.

8. Масленников Л.Е. О состоянии строительства Багаевского гидроузла на реке Дон // Гидротехника. 2021. № 3 (64). С. 5–7.

9. Шурухин Л.А., Левачев С.Н., Немолочнов А.Г. Багаевский гидроузел – последняя ступень каскада транспортных гидроузлов на Нижнем Дону // Гидротехника. 2017. № 3. С. 6–9.

REFERENCES

1. On Approval of the Action Plan («Road Map») for the Improvement and Development of the Water Management Complex of the River Don. Decree of the Government of the Russian Federation of 21 July, 2021, no. 2012. (In Russian).

Показатели качества условий работы рыбопропускных сооружений

Сооружение	Q_p , м ³ /с	Q_c , м ³ /с	$v_{пр}$, м/с	v_p , м/с	$v_{кр}$, м/с	B_c , м	B_p , м	$L_{уд}$, м	$L_{з/п}$, м	$\Pi_{к/у}$, %
Рыбопропускной шлюз	250	45,0	0,895	0,52	0,85	10,0	160,0	80,0	100,0	27,0
	400	55,0		0,40						22,9
Рыбоходно-нерестовый канал	250	100,0	0,40	0,52	22,5	22,5				65,6
	400	100,0		0,40						37,6

2. Lendov V.G. Construction No. 1 on the Don. The new life of the Kochetovsky hydroelectric complex / Edited by N.G. Smimov. Bulletin of Transport, Moscow, 2009. 215 p. (in Russian).

3. Shurukhin L.A., Pantina T.A. The project for constructing the Bagaevsky waterworks complex as an element in the unified deepwater system of European Russia's inland waterways. Transport of the Russian Federation. 2017. Vol. 72, No. 5. P. 69–72. (In Russian).

4. Krivoshei V.A. About the project of the Bagaevsky hydroelectric complex // Astrakhan bulletin of environmental education. 2016. Vol. 36, No. 2. P. 76–80.

5. Dubinina V.G., Zhukova S.V. An assessment of possible consequences of Bagaevsky hydroelectric system construction for the Lower Don ecosystem // Fisheries. 2016. No. 4. P. 20–30.

6. Gaidav S.K. Fish-breeding facilities of the low-pressure Bagaev hydroelectric complex on the Don river // Hydraulic engineering. 2019. Vol. 55, No. 2. P. 22–25.

7. Belikov V.V., Borisova N.M., Aleksyuk A.I., Rumyantsev A.B., Glotko A.V., Shurukhin L.A. Hydraulic justification of the Bagaevsky HPP project based on numerical hydrodynamic modeling // Power Technology and Engineering. 2018. No. 5. P. 19–35.

8. Maslennikov L.E. Fish-breeding facilities of the low-pressure Bagaevsky hydroelectric complex on the Don River // Hydraulic engineering. 2021. No. 3 (64). P. 5–7.

9. Shurukhin L.A., Levachev S.N., Nemolochnov A.G. Bagaevsky hydroelectric unit – the last stage of the cascade of transport hydroelectric units on the Lower Don // Hydraulic Engineering. 2017. No. 3. P. 6–9.

Шкура Виктор Николаевич, канд. техн. наук, профессор, вед. науч. сотрудник, VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>; **Шевченко Алексей Викторович**, аспирант, мл. науч. сотрудник, rigge111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377> (Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск).

ЮРИЮ МИХАЙЛОВИЧУ КОСИЧЕНКО – 75 ЛЕТ



4 февраля 2023 г. исполнилось 75 лет доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации, известному гидротехнику-фильтрационнику и гидравлику – Юрию Михайловичу Косиченко.

Юрий Михайлович родился в 1948 г. в с. Куян Урожайненского района КБАССР. Выбор профессии инженера-гидротехника для Юрия Михайловича был определен с раннего детства. Он, еще будучи школьником, своими глазами видел, как преобразился его родной край, когда со строительством оросительных систем и плотины их «омыла» вода у г. Майского. Юрий Михайлович часто вспоминает, как тогда расцвели и зазеленели необозримые ку-

курузные поля на месте ранее беспощадно выжигаемой солнцем целины.

В 1970 г. с отличием окончил гидромелиоративный факультет Новочеркасского инженерно-мелиоративного института (НИМИ). С 1986 по 1989 г. работал проректором по научно-исследовательской работе НИМИ, с 1986 по 2006 г. заведовал кафедрой гидравлики и инженерной гидрологии, с 2006 по 2016 г. работал заместителем директора по науке ФГБНУ «Российский НИИ проблем мелиорации», а с 2016 г. по настоящее время – главный научный сотрудник гидротехнического отдела.

Исследования Ю.М. Косиченко направлены на разработку и совершенствование технических решений, обеспечивающих снижение потерь воды на фильтрацию, гидравлические исследования оросительных каналов, повышение безопасности и надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения.

За 50 лет научно-педагогической работы под руководством ученого защитилось 23 кандидата и 3 доктора технических наук, выполнены сотни натуральных исследований различных каналов и ГТС.

Ю.М. Косиченко является автором более 540 научных трудов, в том числе 36 монографий и учебных пособий, более 25 научных статей опубликовано в зарубежных изданиях. Он получил порядка 110

патентов на изобретения и свидетельств на программы для ЭВМ.

Исследования и внедрения результатов научной работы осуществлены более чем на 120 объектах страны, в том числе на таких крупных сооружениях, как Большой Ставропольский и Донской магистральный каналы, Юмагузинский и Апаринский гидроузлы, Тамбовское водохранилище, «Ростовское море» и многих других.

Ю.М. Косиченко является экспертом РАН. Награжден медалями «За трудовое отличие», золотой, двумя серебряными и тремя бронзовыми медалями ВДНХ и ВВЦ, почетной медалью «За заслуги в мелиорации», дипломом III степени «Лучший изобретатель Ростовской области», дипломом и медалью полномочного представителя Президента РФ в ЮФО. Награжден премией губернатора Ростовской области за заслуги в научно-исследовательской деятельности.

Юрий Михайлович и по сей день активно занимается научно-педагогической работой, участвует в редакционных коллегиях журналов «Мелиорация и гидротехника», «Природообустройство», «Экология и водное хозяйство».

Ученики, друзья и коллеги желают Юрию Михайловичу крепкого здоровья, благополучия и новых научных достижений!

Сотрудники ФГБНУ «РосНИИПМ»

ПАМЯТИ НИКАНДРА СТЕПАНОВИЧА КЛЮКИНА

28 февраля 2023 г. прошло 2 года после кончины ветерана мелиоративного и водохозяйственного строительства России, заслуженного мелиоратора РСФСР – Никандра Степановича Клюкина.

Н.С. Клюкин, 1926 года рождения, был одним из руководителей и участников строительства крупных мелиоративно-водохозяйственных объектов Российской Федерации: Терско-Кумского и Кумо-Манычского каналов; Левокумской, Гудермесской, Алханчуртской, Надтеречной, Ассиновской и Аксайской обводнительно-оросительных систем; Орловской, Стародубской и Покойненской плотин на реке Куме и других объектов, расположенных в Ставропольском крае, Северной Осетии, Чеченской и Ингушской Республиках, а также в Курской и Белгородской областях.

Прошел всю служебную лестницу в мелиоративном и водохозяйственном строительстве – от прораба до заместителя Министра мелиорации и водного хозяйства РСФСР. За особые производственные заслуги, высокое качество строительства

и культуру производства награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени и 8 медалями.

Для увековечения памяти ветерана мелиоративного и водохозяйственного строительства, прошу рассмотреть возможность компенсации части расходов на установку памятного надгробия на могиле отца, похороненного на Троекуровском кладбище в Москве.

С уважением, Клюкин Александр Никандрович (тел. +7(926)824-72-68).

Уважаемые мелиораторы России!

В жизни каждого человека бывают взлеты и падения. Нашему журналу свойственно уважительно относиться к единомышленникам, отдавшим много сил и всю свою жизнь в установления престижа мелиоративному улучшению территорий.

В настоящее время прошу вас поддержать память Никандра Степановича Клюкина и рассмотреть возможность помощи в соответствии с обращением родственников.

Г.Г. Гулюк