

ISSN 2313-2248

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал

Выпуск № 4(88)/2022

Новочеркасск

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал
ФГБНУ «РосНИИПМ»
Издается с июня 1978 года
Выходит четыре раза в год

Выпуск № 4(88)/2022

Октябрь – декабрь 2022 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор, председатель редакционной коллегии – доктор сельскохозяйственных наук
А. Н. Бабичев

Заместитель главного редактора – кандидат технических наук Д. В. Бакланова

Редакторы: доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай; доктор сельскохозяйственных наук, доцент И. В. Гурина, кандидат технических наук О. А. Баев; кандидат физико-математических наук М. В. Власов; кандидат сельскохозяйственных наук О. В. Воеводин; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент В. Д. Гостищев; кандидат сельскохозяйственных наук Л. М. Докучаева; кандидат технических наук А. Л. Кожанов; кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Монастырский; кандидат технических наук В. Иг. Ольгаренко; кандидат сельскохозяйственных наук С. А. Селицкий; кандидат технических наук В. В. Слабунов; кандидат технических наук А. А. Чураев; кандидат технических наук А. С. Штанько; кандидат сельскохозяйственных наук Р. Е. Юркова

Ответственный секретарь – Л. И. Юрина

Технический редактор, выпускающий – Е. А. Бабичева

Литературный редактор – А. И. Литовченко

Переводчик – В. В. Кульгавюк

Адрес редакции и издателя:

346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 190

Тел.: (8635) 26-65-00, 26-02-02

<http://www.rosniipm.ru/journal/ppeoz>
e-mail: transfer-rosniipm@yandex.ru

**Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство ПИ № ФС 77-82276 от 10 ноября 2021 г.**

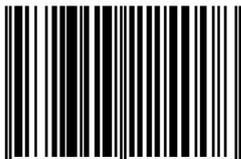
Подписано в печать 12.12.2022. Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 12,44. Тираж 500 экз. Заказ № 28

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 190

Отпечатано ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 186

ISSN 2313-2248



9 772313 224008

Дата выхода в свет 30.12.2022

Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения»

- Иванютин Н. М., Волкова Н. Е., Подвалова С. В.** Оценка воздействия г. Симферополя на ирригационное качество вод р. Салгир..... 4–14
- Косиченко Ю. М., Баев О. А.** Научное обоснование применения каналов переброски стока комплексного назначения..... 15–22
- Рыжиков А. Н., Мартынов Д. В.** К вопросу определения границ земель в зоне обслуживания мелиоративных систем, приоритетных для восстановления орошения..... 23–29
- Штанько А. С.** Расположение зон увлажнения почвы при капельном поливе многолетних плодовых культур..... 30–37
- Монастырский В. А., Бабенко А. А.** Влияние доз органических удобрений на динамику питательных веществ в орошаемом агроценозе..... 38–43
- Шкура В. Н., Шевченко А. В.** Назначение, виды и условия применения, требования к функционированию и состав конструктивных элементов рыбоходно-нерестовых каналов..... 44–51
- Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т., Ишханов В. Ю.** Почвозащитные приемы снижения эрозии почвы от ливневых дождей..... 52–61
- Гарбуз А. Ю.** Обоснование выбора конструктивно-технологических решений при реконструкции оросительных каналов..... 62–69
- Бабичев А. Н., Сидаренко Д. П.** Суммарное водопотребление и продуктивность картофеля при орошении и внесении минеральных удобрений 70–76

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

- Осипенко Д. А.** Использование водных ресурсов для орошения на государственных гидромелиоративных системах в 2021 г. 77–81
- Кузнецов Е. В., Алматар А.** Исследование влияния капельного и внутрипочвенного орошения сои в экстремальных условиях на рисовых почвах..... 82–90
- Бабичев А. Н., Недоцукова Ю. И.** Обоснование расчета доз внесения минеральных удобрений под хлопчатник на орошаемых землях Ростовской области ... 91–98

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Макарова Н. М.** Альтернативные источники воды для орошения кормовых культур в Ростовской области 99–107

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

***Всероссийская научно-практическая конференция
«Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного
комплекса и пути их решения»***

CONFERENCE PROCEEDINGS

***All-russian scientific and practical conference
“Modern problems of land reclamation and water industrial
complex and ways to solve them”***

Научная статья
УДК 631.67.03

Оценка воздействия г. Симферополя на ирригационное качество вод р. Салгир

**Николай Михайлович Иванютин¹, Наталья Евгеньевна Волкова²,
Светлана Владимировна Подовалова³**

^{1, 2, 3}Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация

¹redkolya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8009-3857>

²volkova_n@niishk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3146-652X>

³podovalovas@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X>

Аннотация. **Цель:** оценить влияние г. Симферополя на ирригационное качество стока р. Салгир и Малый Салгир. **Материал и методы:** исследование проводилось на основе использования широко применяемых в РФ подходов к оценке пригодности вод для целей орошения (коэффициента Стеблера, натриевого адсорбционного отношения (SAR), почвенно-мелиоративной классификации). **Результаты.** В ходе выполнения работ было установлено, что городская среда повлияла на ирригационное качество речного стока. Величина коэффициента Стеблера по длине р. Салгир и Малый Салгир в границах г. Симферополя уменьшилась в 3 и 1,7 раза соответственно, а показатель SAR увеличился в 2,3 и 1,8 раза. В результате фитотестирования, проведенного на семенах *Lepidium sativum*, было выявлено формирование ингибирующего эффекта на выходе р. Салгир с территории города, что в случае использования данной воды для целей орошения может стать причиной снижения урожайности сельскохозяйственных культур, чувствительных к содержащимся в речном стоке поллютантам. **Выводы.** Городская среда является одним из основных источников загрязнения водотоков, вызывающих ухудшение не только экологического состояния речных экосистем, но и ирригационного качества стока. Оценка ее воздействия на состав водных ресурсов позволяет создать информационную базу, необходимую для достижения рационального природопользования, включая повышение эколого-экономической эффективности орошаемого земледелия.

Ключевые слова: речной сток, городская среда, антропогенная нагрузка, качество воды, орошение

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20062, <https://rscf.ru/project/22-27-20062/>.

Original article

**Assessment of the city Simferopol impact
on the irrigation water quality of the Salgir river**

Nikolay M. Ivanyutin¹, Natalia E. Volkova², Svetlana V. Podovalova³

^{1,2,3}Scientific Research Institute of Agriculture of the Crimea, Simferopol, Russian Federation

¹redkolya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8009-3857>

²volkova_n@niishk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3146-652X>

³podovalovas@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X>

Abstract. Purpose: to assess the impact of the city of Simferopol on the irrigation quality of the runoff of the Salgir and Maly Salgir rivers. **Material and methods:** the study was carried out on the basis of the widely used in the Russian Federation approaches to assessing the suitability of water for irrigation purposes (the Stebler coefficient, the sodium adsorption ratio (SAR), soil-reclamation classification). **Results.** In the course of the work, it was found that the urban environment affected the irrigation quality of the river flow. The value of the Stebler coefficient along the length of the Salgir and Maly Salgir rivers within the city of Simferopol decreased by 3 and 1.7 times, respectively, while the SAR index increased by 2.3 and 1.8 times. As a result of phytotesting carried out on the *Lepidium sativum* seeds, the formation of an inhibitory effect at the outlet of the Salgir river from the territory of the city, that, if this water is used for irrigation purposes, can cause a decrease in the agricultural crops yield that are sensitive to pollutants contained in the river runoff. **Conclusions.** The urban environment is one of the main sources of water pollution, causing deterioration not only in the ecological state of river ecosystems, but also in the irrigation quality of the runoff. An assessment of its impact on the composition of water resources makes it possible to create the information base necessary to achieve rational nature management, including increasing the environmental and economic efficiency of irrigated agriculture.

Keywords: river runoff, urban environment, anthropogenic load, water quality, irrigation

Funding: the study was supported by the Russian Science Foundation grant no. 22-27-20062, <https://rscf.ru/project/22-27-20062/>.

Введение. В аграрном секторе орошение давно признано эффективным способом повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Однако, как и любой другой вид человеческой деятельности, проведение поливов без соблюдения нормативных требований может привести к ряду негативных последствий, например, ухудшению мелиоративной обстановки, гибели посевов и т. п.

Немаловажным фактором, влияющим на эффективность орошения, является качество поливной воды. Понимание этого факта нашло отражение в работах ряда ученых и специалистов, которые не только оценивали качественные показатели, но и, отслеживая их динамику в пространстве и времени, пытались установить источники загрязнения поливной воды, чтобы в дальнейшем исключить их негативное влияние, тем самым повысить эколого-экономическую эффективность орошения. В данном направлении работали: Э. И. Чембарисов, Л. А. Воеводина, Ю. А. Титова, В. В. Мелихов, С. Э. Бадмаева, А. М. Mufur, М. А. Abdelhafiz, С. М. Sharma, В. Н. К. Al-Obaidi, S. Singh, J. L. Perrin и многие другие [1–11]. Большинство выполненных ими исследований объединяет вывод о том, что одним из основных источников негативного воздействия на ирригационное качество воды являются города, после прохождения которых в водотоках часто фиксируется химическое и бактериологическое загрязнение [3, 5–7, 9, 11].

Несмотря на это, относительно мало работ посвящено детальному изучению изменения на урбанизированной территории ирригационного качества речного стока. Это в первую очередь обосновано тем, что орошаемые сельскохозяйственные угодья расположены за пределами населенных пунктов. Следует отметить, что проведение подобных исследований позволило бы не только установить уровень негативного воздействия городов на ирригационное качество воды, но и конкретизировать источники загрязнения.

Исходя из вышеизложенного, была сформулирована цель данной работы – оценить влияние г. Симферополя на ирригационное качество стока р. Салгир и Малый Салгир.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в 2020 и 2022 гг. и включали:

- определение химического состава вод, которое осуществлялось в полевых (портативный прибор Hanna Instruments-98195) и стационарных условиях (сертифицированная лаборатория ФГБУН «НИИСХ Крыма»);

- оценку пригодности речного стока для целей орошения на основе использования коэффициента Стеблера, натриевого адсорбционного отношения (SAR), почвенно-мелиоративной классификации, описание которых приведено в работах А. В. Шуравилина, Ю. А. Можайского, И. П. Айдарова и др. [12, 13];

- определение токсичности вод с помощью метода фитотестирования на семенах *Lepidium sativum* (кресс-салат), культуры, которая согласно исследованиям, представленным в работах Н. М. Иванютина, Н. Е. Волковой, С. В. Подоваловой [14, 15], оказалась наиболее отзывчивой к поллютантам, содержащимся в водотоках Республики Крым.

В качестве объекта исследования были выбраны р. Салгир и Малый Салгир в черте г. Симферополя. Выбор данных объектов обоснован сочетанием двух факторов:

- оба водотока протекают через территорию одного из самых крупных населенных пунктов Республики Крым, площадь которого составляет более 100 км²;

- р. Салгир является основным источником наполнения Салгирской оросительной системы, водозаборное сооружение которой расположено в г. Симферополе.

Схема расположения точек наблюдения приведена на рисунке 1.

Наблюдение за качественными характеристиками речного стока осуществлялось по 10 точкам (таблица 1). При выборе мест их расположения учитывалось размещение государственной мониторинговой сети.

Результаты и их обсуждение. В ходе определения химических показателей воды основное внимание было уделено солевому составу и наличию тяжелых металлов.

По содержанию нитратов, фосфатов, калия (таблица 1), хлоридов и натрия в речной воде фиксируется увеличение концентраций на территории города. Если первые три показателя свидетельствуют о повышении питательной ценности стока, то последние два – о постепенном ухудшении качественного состава, вода может стать причиной развития таких неблагоприятных процессов, как развитие хлоридного засоления и натриевого осолонцевания. Наиболее вероятными источниками поступления данных веществ в водотоки являются:

- фильтрация сточных вод из выгребных и сливных ям;

- утечки из системы централизованного водоотведения (около 65 % канализационных трубопроводов г. Симферополя находится в ветхом и аварийном состоянии).

Несмотря на увеличение содержания питательных веществ в стоке р. Салгир и Малый Салгир на территории г. Симферополя, данные воды не обладают значительной удобрительной ценностью и пересмотра норм внесения удобрений при их использовании для орошения не требуется.

В ходе исследований, проведенных в 2020 и 2022 гг., не было зафиксировано превышения в воде предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, однако результаты наблюдений на государственной мониторинговой сети ГАУ РК «Центр лабораторного анализа и технических измерений» свидетельствуют, что возможно превышение нормативов, установленных для объектов хозяйственно-питьевого назначения (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»), по свинцу, кадмию и никелю. Однако вследствие того, что вода перед подачей в Салгирскую оросительную сеть отстаивается, риск загрязнения почв тяжелыми металлами сводится к минимуму.

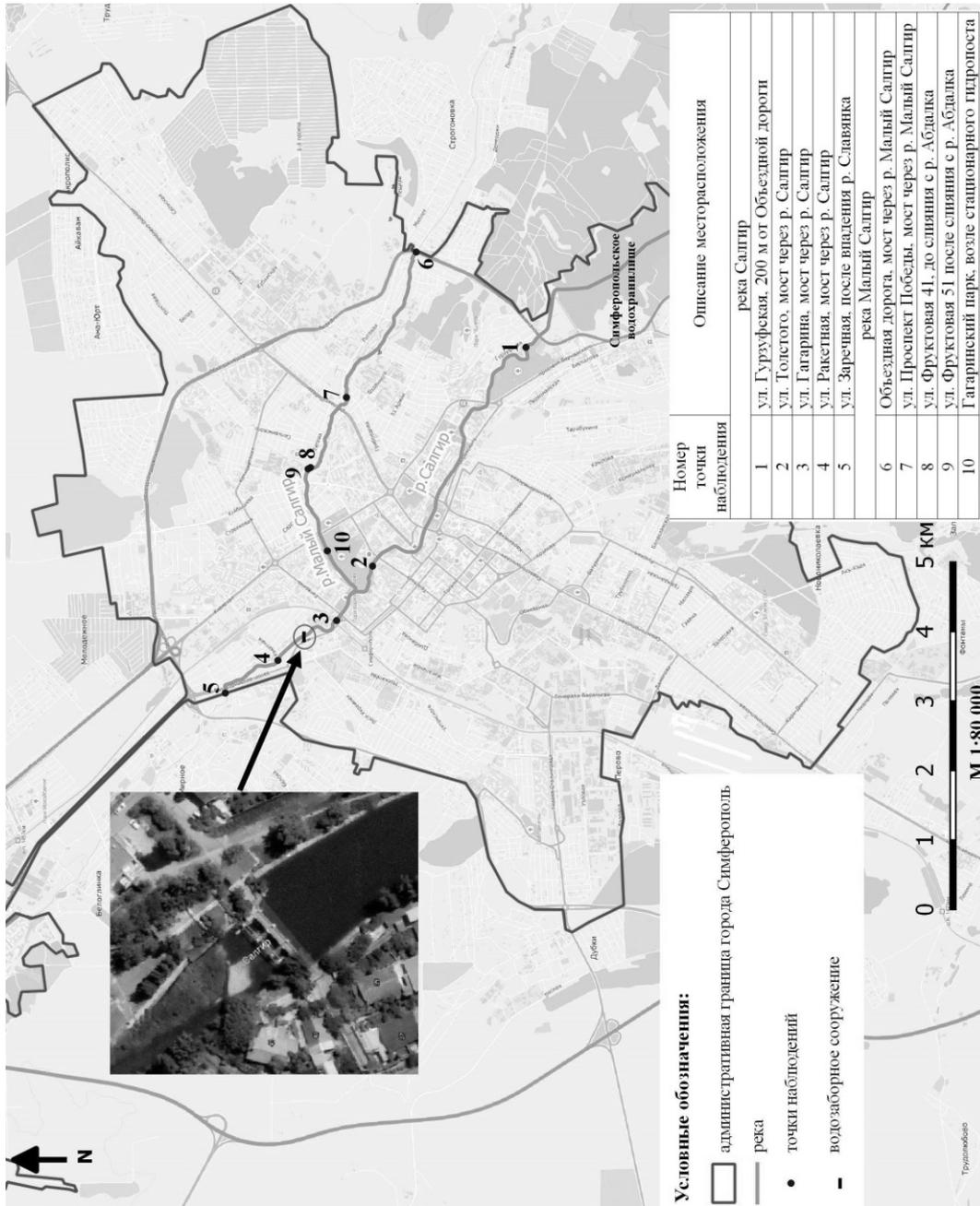


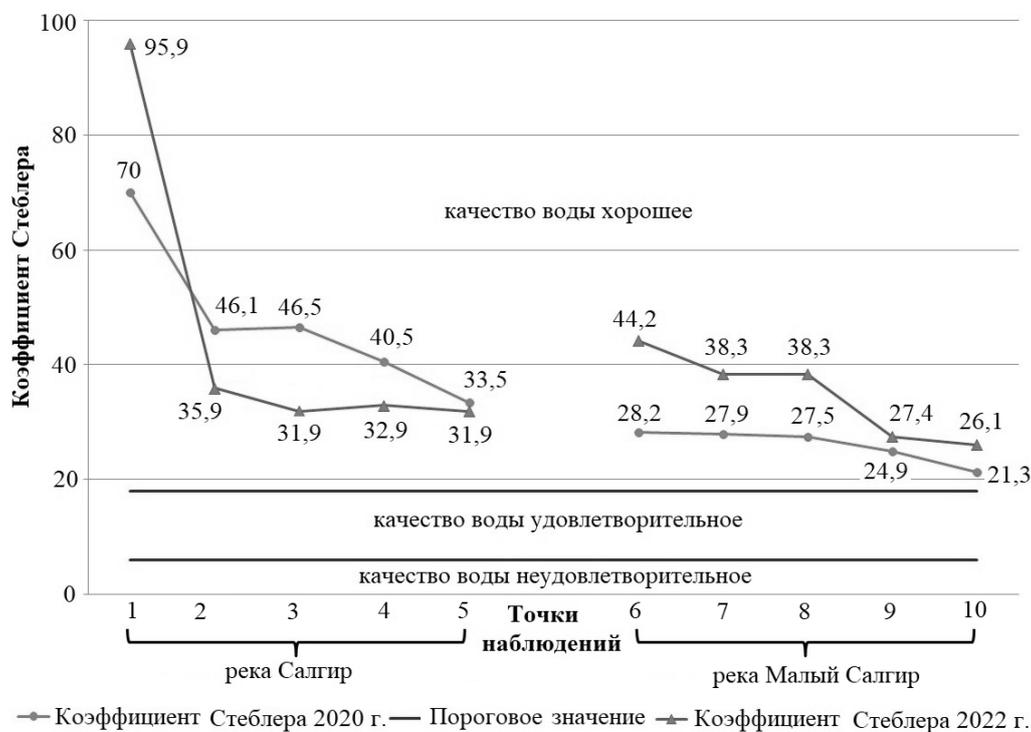
Рисунок 1 – Схема расположения объектов исследования и точек наблюдений

Figure 1 – Layout of study objects and observation points

Таблица 1 – Динамика содержания нитратов, фосфатов и калия по длине р. Салгир и Малый Салгир на территории г. СимферополяВ мг/дм³**Table 1 – Dynamics of the content of nitrates, phosphates and potassium along the length of the river Salgir and Maly Salgir in the territory of Simferopol**In mg/dm³

Номер точки наблюдения	NO ₃ ⁻		PO ₄ ³⁻		K ⁺	
	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.
р. Салгир						
1	3,04	7,08	0,06	0,00	3,70	4,98
2	42,97	45,16	0,58	0,21	11,20	12,10
3	33,02	44,27	0,35	0,06	10,60	8,54
4	31,37	42,50	0,26	0,15	9,50	7,83
5	30,71	45,16	0,16	0,00	8,10	7,83
р. Малый Салгир						
6	16,75	22,13	0,22	0,06	3,30	3,56
7	24,68	28,78	0,24	0,06	4,40	3,56
8	32,60	30,55	0,26	0,06	5,50	3,56
9	37,23	40,29	0,23	0,00	5,15	4,27
10	41,86	44,27	0,17	0,00	4,80	3,56

Результаты расчетов коэффициентов, характеризующих пригодность воды для целей орошения, показали, что воздействие городской среды влечет за собой постепенное ухудшение ирригационного качества речного стока по длине водотоков (рисунки 2, 3).

**Рисунок 2 – Изменение значений коэффициента Стеблера по длине водотоков в границах г. Симферополя****Figure 2 – Changing the values of the Stebler coefficient along the watercourse length in the territory of Simferopol**

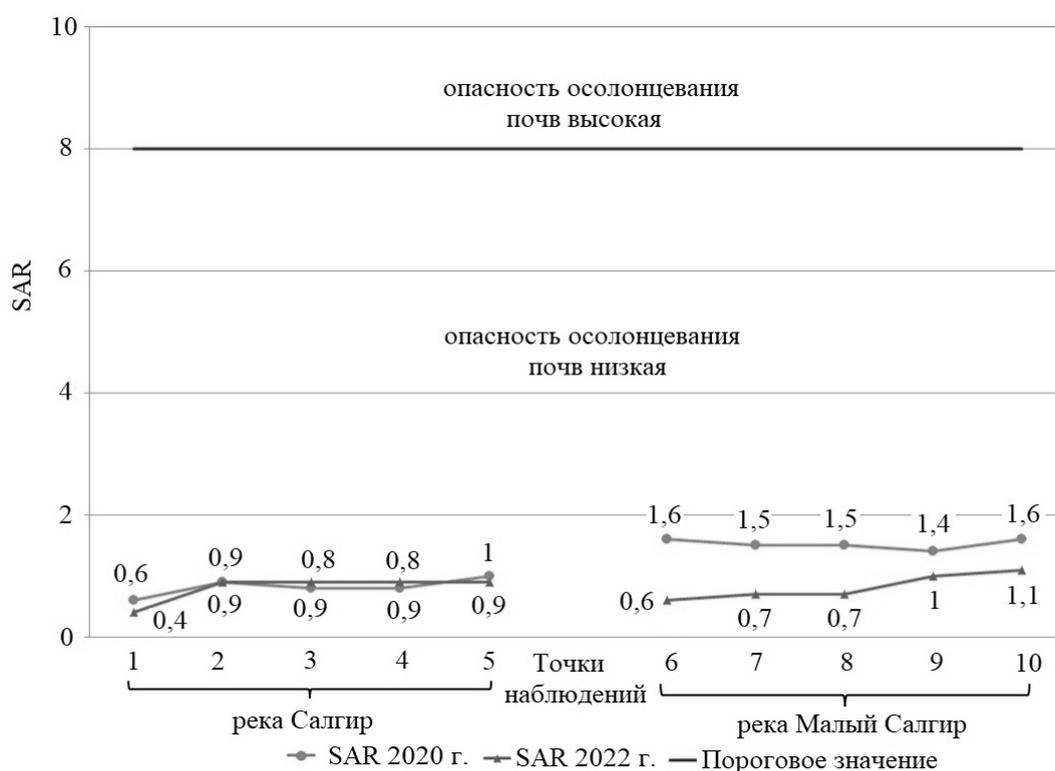


Рисунок 3 – Изменение значений SAR по длине водотоков в границах г. Симферополя

Figure 3 – Change in SAR values along the watercourse length in the territory of Simferopol

Наиболее явно влияние городской среды на ирригационное качество речной воды просматривается на основе анализа изменения величин коэффициента Стеблера и показателя SAR. По р. Салгир значение коэффициента Стеблера уменьшилось в 3 раза, а по р. Малый Салгир – в 1,7 раза, значение SAR увеличилось в 2,3 и 1,8 раза. Это обосновано повышением содержания в воде ионов натрия и хлоридов.

Полученные результаты подтверждаются итогами оценки пригодности воды для целей орошения, выполненной с использованием почвенно-мелиоративной классификации. Если отследить изменение класса качества воды в отношении развития неблагоприятных почвенных процессов, то видно, что в нижнем течении р. Малый Салгир риск формирования хлоридного засоления при использовании данной воды для целей орошения возрастает (таблица 2).

Несмотря на постепенное ухудшение качественного состава, исходя из анализа результатов проведенных расчетов комплексных показателей, сток р. Салгир и Малый Салгир на территории г. Симферополя характеризуется как пригодный для орошения, в целом его использование не должно привести к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и развитию неблагоприятных почвенных процессов. Только в случае плохой дренируемости территории возможно постепенное накопление солей в почве.

Оценка ирригационного качества вод в городской зоне с помощью метода фитотестирования, результаты которой представлены на рисунке 4, показала, что, несмотря на увеличение содержания нитратов и калия в воде, стимулирующий эффект не был зафиксирован, наоборот, по последней точке наблюдения на р. Салгир отмечается незначительный ингибирующий эффект.

Таблица 2 – Результаты оценки пригодности стока р. Салгир и Малый Салгир для целей орошения по почвенно-мелиоративной классификации (2020/2022 гг.)

Table 2 – Results of assessing the suitability of the Salgir and Maly Salgir rivers flow for irrigation purposes according to the soil and reclamation classification (2020/2022)

Номер точки наблюдения	Класс воды по опасности развития процесса					Итоговый класс качества воды
	общего засоления	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содообразования	
р. Салгир						
1	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I
2	II/II	I/I	I/I	I/I	I/I	II/II
3	II/II	I/I	I/I	I/I	I/I	II/II
4	II/II	I/I	I/I	I/I	I/I	II/II
5	II/II	I/I	I/I	I/I	I/I	II/II
р. Малый Салгир						
6	II/II	I/I	II/I	I/I	I/I	II/II
7	II/II	I/I	II/I	I/I	I/I	II/II
8	II/II	I/I	II/I	I/I	I/I	II/II
9	II/II	II/II	II/I	I/I	I/I	II/II
10	II/II	II/II	II/I	I/I	I/I	II/II

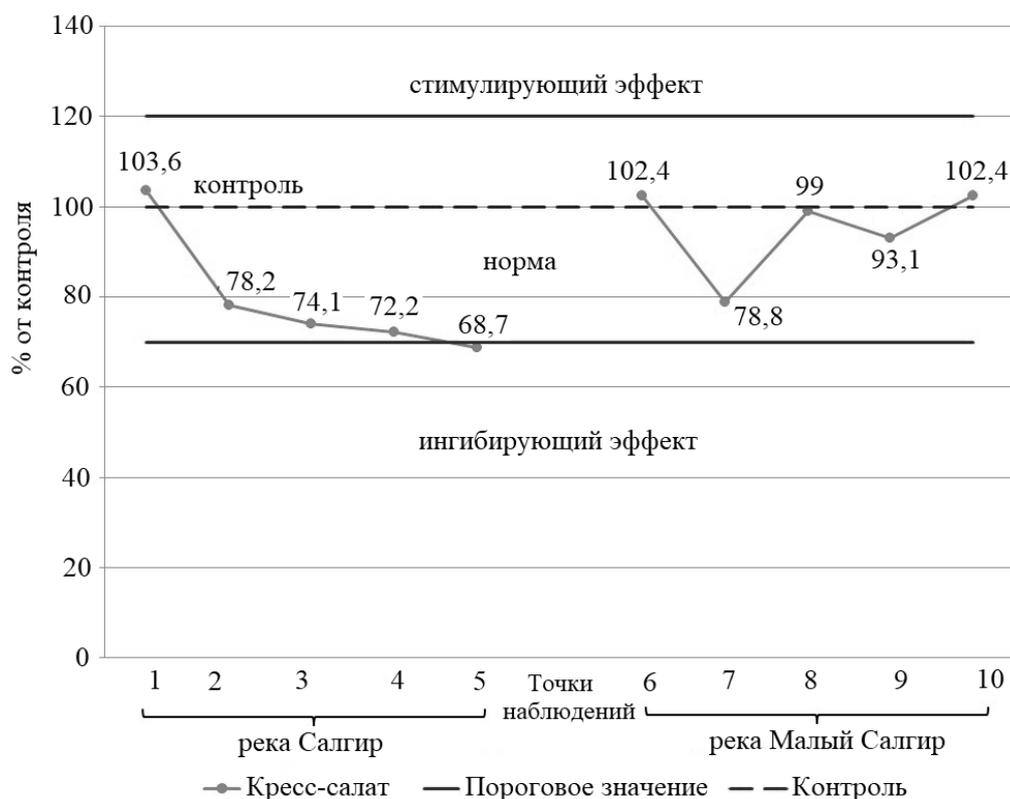


Рисунок 4 – Результаты фитотестирования по длине водотоков в границах г. Симферополя

Figure 4 – Results of phytotesting along the watercourse length in the territory of Simferopol

В целом полученные результаты фитотестирования указывают на то, что воды обследованных участков водотоков могут использоваться для целей орошения. Однако при этом четко прослеживается постепенное ухудшение ирригационного качества речного стока р. Салгир на территории г. Симферополя. Так как анализ солевого состава и отслеживаемых в воде тяжелых металлов не выявил возможность существенного негативного воздействия на развитие сельскохозяйственных культур, причиной может быть суммарный эффект загрязняющих веществ или наличие в воде не определенных в ходе исследования поллютантов.

Выводы. Сток р. Салгир и Малый Салгир на территории г. Симферополя в целом был классифицирован как пригодный для орошения.

Городская среда оказала негативное влияние на ирригационное качество речного стока. Величина коэффициента Стеблера для р. Салгир и Малый Салгир уменьшилась в 3 и 1,7 раза соответственно, показатель SAR увеличился в 2,3 и 1,8 раза.

Результаты фитотестирования также подтвердили негативное влияние города, причем на выходе р. Салгир с территории г. Симферополя был зафиксирован ингибирующий эффект, что в случае использования данной воды для целей орошения может стать причиной снижения урожайности сельскохозяйственных культур, чувствительных к содержащимся в речном стоке поллютантам.

Наиболее вероятными источниками загрязнения стока р. Салгир и Малый Салгир на территории столицы Республики Крым являются неочищенные сточные воды, формирующиеся в результате утечек из систем водоотведения, фильтрации из выгребных и сливных ям.

Качество оросительной воды является одним из основополагающих факторов, обеспечивающих эффективное с эколого-экономической точки зрения ведение орошаемого земледелия. Его необходимо отслеживать, по возможности локализовать и устранять источники загрязнения, в т. ч. расположенные в городской зоне. Для этого негативное влияние городов на ирригационное качество речного стока целесообразно учитывать при усовершенствовании методологических основ управления экологической безопасностью водных объектов, в т. ч. расположенных на урбанизированной территории.

Список источников

1. Гидроэкологический мониторинг качества речных вод бассейна реки Амударья в пределах Узбекистана / Э. И. Чембарисов, Ж. Б. Мирзакобулов, М. Н. Рахимова, Б. О. Расулов, З. У. Тиллаева // Экология и строительство. 2019. № 1. С. 12–18.

2. Воеводина Л. А. Перспективы сбора данных о качестве оросительных вод для формирования интерактивных геоинформационных карт оросительных систем // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2021. Т. 3, № 1. С. 15–28. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=107> (дата обращения: 01.10.2022). DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-2-15-28.

3. Титова Ю. А. Эколого-химическая оценка качества воды в оросительных сетях и системах рек Чуйской долины // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2020. № 2. С. 35–39. DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557.

4. Качество поверхностных вод и их влияние на экологическую устойчивость орошаемых агроландшафтов / В. В. Мелихов, К. А. Родин, М. К. Тихонова, Д. А. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. Т. 58, № 4. С. 48–55. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-5.

5. Бадмаева С. Э., Бадмаева Ю. В. Гидрохимический анализ воды р. Енисей для целей ирригации // Вестник КрасГАУ. 2016. Т. 118, № 7. С. 109–113.

6. Physico-chemical and bacteriological characterization of surface water in Bamenda (North West Cameroon) / A. M. Mufur, M. T. Awah, G. D. K. Nono, P. A. Tamfuh, P. Wotchoko, K. K. V. Beyala // *Applied Water Science*. 2021. Vol. 11, iss. 12. 185. DOI: 10.1007/s13201-021-01512-3.

7. Chemical and bacterial quality monitoring of the Nile river water and associated health risks in Qena-Sohag sector, Egypt / M. A. Abdelhafiz, A. A. Elnazer, E. M. Seleem, A. Mostafa, A. G. Al-Gamal, S. A. Salman, X. Feng // *Environmental Geochemistry and Health*. 2021. Vol. 43, iss. 10. P. 4089–4104. DOI: 10.1007/s10653-021-00893-3.

8. Major ions and irrigation water quality assessment of the Nepalese Himalayan rivers / C. M. Sharma, S. Kang, L. Tripathee, R. Paudyal, M. Sillanpää // *Environment, Development and Sustainability*. 2021. Vol. 23, iss. 2. P. 2668–2680. DOI: 10.1007/s10668-020-00694-1.

9. Al-Obaidi B. H. K., Mahmood R. S., Kadhim R. A. Water quality assessment and sodium adsorption ratio prediction of Tigris river using artificial neural network // *Journal of Engineering Science and Technology*. 2020. Vol. 15, iss. 5. P. 3055–3066.

10. Impact assessment of fecal sludge on groundwater and river water quality in Lucknow environs, Uttar Pradesh, India / S. Singh, N. Hariteja, P. T. J. Renuka, N. J. Raju, C. Ramakrishna // *Groundwater for Sustainable Development*. 2020. Vol. 11. 100461. DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100461.

11. Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou river (Morocco) / J. L. Perrin, N. Raïs, N. Chahinian, P. Moulin, M. Ijjaali // *Journal of Hydrology*. 2014. Vol. 510. P. 26–34. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.12.002.

12. Шуравилин А. В., Можайский Ю. А. Практикум по мелиорации сельскохозяйственных земель: учеб. пособие. Рязань: РГАТУ, 2011. 214 с.

13. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / И. П. Айдаров [и др.]; под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Агропромиздат, 1990. Т. 6. 415 с.

14. Иванютин Н. М., Волкова Н. Е., Подовалова С. В. Комплексный гидроэкологический мониторинг водотоков бассейна реки Зуя // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25, № 9. С. 73–79. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-9-73-79.

15. Иванютин Н. М., Подовалова С. В. Использование комплексного анализа для оценки современного экологического состояния реки Бештерек // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2020. Т. 25, № 3. С. 41–49. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.41-49.

References

1. Chembarisov E.I., Mirzakobulov J.B., Rakhimova M.N., Rasulov B.O., Tillaeva Z.U., 2019. *Gidroekologicheskiiy monitoring kachestva rechnykh vod basseyna reki Amudar'i v predelakh Uzbekistana* [Hydroecological monitoring of river water quality in the Amu Darya river basin in the territory of Uzbekistan]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Civil Engineering], no. 1, pp. 12-18. (In Russian).

2. Voevodina L.A., 2021. [Prospects for data collection on irrigation water quality for the formation of interactive geoinformation irrigation maps]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 3, no. 1, pp. 15-28, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=107> [accessed 01.10.2022], DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-2-15-28. (In Russian).

3. Titova Yu.A., 2020. *Ekologo-khimicheskaya otsenka kachestva vody v orositel'nykh setyakh i sistemakh rek Chuyskoy doliny* [Ecological and chemical assessment of water quality in irrigation networks and river systems of the Chui Valley]. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana* [Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan], no. 2, pp. 35-39, DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557. (In Russian).

4. Melikhov V.V., Rodin K.A., Tikhonova M.K., Bolotin D.A., 2019. *Kachestvo pov-*

erkhnostnykh vod i ikh vliyanie na ekologicheskuyu ustoychivost' oroshaemykh agrolandshaftov [Quality of surface waters and their impact on the ecological sustainability of irrigated agrolandscapes]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agrouniversity Complex: Science and Higher Education], vol. 58, no. 4, pp. 48-55, DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-5. (In Russian).

5. Badmaeva S.E., Badmaeva Yu.V., 2016. *Gidrokhimicheskiy analiz vody r. Enisey dlya tseley irrigatsii* [Hydrochemical water analysis of the Yenisei river for irrigation]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], vol. 118, no. 7, pp. 109-113. (In Russian).

6. Mufur A.M., Awah M.T., Nono G.D.K., Tamfuh P.A., Wotchoko P., Beyala K.K.V., 2021. Physico-chemical and bacteriological characterization of surface water in Bamenda (North West Cameroon). *Applied Water Science*, vol. 11, iss. 12, 185, DOI: 10.1007/s13201-021-01512-3.

7. Abdelhafiz M.A., Elnazer A.A., Seleem E.M., Mostafa A., Al-Gamal A.G., Salman S.A., Feng X., 2021. Chemical and bacterial quality monitoring of the Nile river water and associated health risks in Qena-Sohag sector, Egypt. *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 43, iss. 10, pp. 4089-4104, DOI: 10.1007/s10653-021-00893-3.

8. Sharma C.M., Kang S., Tripathee L., Paudyal R., Sillanpää M., 2021. Major ions and irrigation water quality assessment of the Nepalese Himalayan rivers. *Environment, Development and Sustainability*, vol. 23, iss. 2, pp. 2668-2680, DOI: 10.1007/s10668-020-00694-1.

9. Al-Obaidi B.H.K., Mahmood R.S., Kadhim R.A., 2020. Water quality assessment and sodium adsorption ratio prediction of Tigris river using artificial neural network. *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 15, iss. 5, pp. 3055-3066.

10. Singh S., Hariteja N., Renuka P.T.J., Raju N.J., Ramakrishna C., 2020. Impact assessment of fecal sludge on groundwater and river water quality in Lucknow environs, Uttar Pradesh, India. *Groundwater for Sustainable Development*, vol. 11, 100461, DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100461.

11. Perrin J.L., Raïs N., Chahinian N., Moulin P., Ijjaali M., 2014. Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou river (Morocco). *Journal of Hydrology*, vol. 510, pp. 26-34, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.12.002.

12. Shuravilin A.V., Mozhaysky Yu.A., 2011. *Praktikum po melioratsii sel'skokhozyaystvennykh zemel': uchebnoe posobie* [Workshop on Reclamation of Agricultural Lands: Textbook]. Ryazan, RGATU, 214 p. (In Russian).

13. Aidarov I.P. [et al.], 1990. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: a Reference book]. Moscow, Agropromizdat Publ., vol. 6, 415 p. (In Russian).

14. Ivanyutin N.M., Volkova N.E., Podovalova S.V., 2021. *Kompleksnyy gidroekologicheskiy monitoring vodotokov basseyna reki Zuya* [Integrated hydroecological monitoring of watercourses in the Zuya river basin]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], vol. 25, no. 9, pp. 73-79, DOI: 10.18412/1816-0395-2021-9-73-79. (In Russian).

15. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V., 2020. *Ispol'zovanie kompleksnogo analiza dlya otsenki sovremennogo ekologicheskogo sostoyaniya reki Beshterek* [Using the integrated approach to assess the current environmental state of the Beshterek river]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and Ecology: Problems and Solutions], vol. 25, no. 3, pp. 41-49, DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.41-49. (In Russian).

Информация об авторах

Н. М. Иванютин – научный сотрудник;

Н. Е. Волкова – старший научный сотрудник;

С. В. Подовалова – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. M. Ivanyutin – Researcher;

N. E. Volkova – Senior Researcher;

S. V. Podovalova – Junior Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 19.10.2022; принята к публикации 02.11.2022.

The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 19.10.2022; accepted for publication 02.11.2022.

Научная статья

УДК 626.82

Научное обоснование применения каналов переброски стока комплексного назначения

Юрий Михайлович Косиченко¹, Олег Андреевич Баев²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹Kosichenko-11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9648-6441>

²Oleg-Baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

Аннотация. Цель: провести обобщение данных, в т. ч. накопленных авторами при проведении натурных исследований, об основных технических характеристиках и назначении крупных каналов переброски стока комплексного назначения. **Материалы и методы.** В качестве материалов использованы результаты натурных исследований, которые выполнялись на сооружениях и трактах каналов Ставропольского края, а также данные литературных источников и некоторые исторические сведения о развитии орошения в Ставрополье. **Результаты.** Наибольшие объемы строительства каналов переброски стока реализованы на р. Малка, Баксан, Терек и Кубань в засушливых районах Ставрополья для обводнения р. Егорлык, Калаус, Кума, Кура. Крупным каналом Ставрополья является Большой Ставропольский канал (БСК) протяженностью более 200 км с пропускной способностью порядка 180 м³/с. Годовой объем переброски стока по БСК превышает 2,5 км³. Другие каналы региона уступают БСК как по расходам, так и по годовому объему переброски стока. Определено, что многие гидротехнические сооружения на каналах построены в период с 1948 по 1970 г., эксплуатируются более 50 лет и нуждаются в проведении реконструкции или капитальном ремонте. **Выводы.** Обобщение данных о крупных каналах Ставрополья позволило сделать выводы о том, что функционирование гидротехнических сооружений (в т. ч. трактов оросительных каналов) позволяет обеспечивать водой сельскохозяйственных производителей, а также использовать водные ресурсы и для других немаловажных целей – обводнения, гидроэнергетики, рекреации и рыбоводства.

Ключевые слова: оросительный канал, орошение, обводнение, оросительная система, водопотребление

Original article

Scientific rationale of the use of multi-purpose runoff transfer canals

Yuriy M. Kosichenko¹, Oleg A. Baev²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹Kosichenko-11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9648-6441>

²Oleg-Baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

Abstract. Purpose: to summarize the data, including data accumulated by the authors during field studies, on the main technical characteristics and purpose of large multi-purpose runoff transfer canals. **Materials and methods.** As materials, the results of field studies which were carried out on structures and canal tracts of Stavropol Territory were used, as well as data from literary sources and some historical information on the development of irrigation in Stavropol Territory. **Results.** The largest volumes of canal construction for runoff transfer-

ring were implemented on the rivers Malka, Baksan, Terek and Kuban in the arid regions of Stavropol Territory for the rivers Egorlyk, Kalaus, Kuma, Kura watering. A major canal in Stavropol Territory is the Great Stavropol Canal (GSC) with a length of more than 200 km and a carrying capacity of about 180 m³/s. The annual volume of runoff transfer through the BSC exceeds 2.5 km³. Other canals in the region are inferior to GSC both in terms of costs and in terms of the annual output of runoff transfer. It has been determined that many hydraulic structures on the canals were built in the period from 1948 to 1970, have been in operation for more than 50 years and need to be reconstructed or capital repaired. **Conclusions.** Summarizing the data on the large canals of Stavropol Territory allows concluding that the functioning of hydraulic structures (including irrigation canal tracts) makes it possible to provide water to agricultural producers, as well as to use water resources for other important purposes – watering, hydropower, recreation and fish farming.

Keywords: irrigation canal, irrigation, watering, irrigation system, water consumption

Введение. Каналы переброски выполняют ряд функций, связанных с подачей водных ресурсов от водоисточника до водопотребителя для различных нужд (водопотребления, обводнения маловодных объектов гидрографической сети, орошения, рыбоводства, гидроэнергетики и др.). Основная же роль каналов заключается в подаче воды на орошение аридных территорий, нуждающихся в орошении и обводнении. Общая протяженность только оросительных каналов в нашей стране составляет порядка 22000 км, многие из них выполнены в земляном русле, характеризуются значительными потерями воды на фильтрацию, заилением и зарастанием русел растительностью. Применение таких сооружений в гидромелиоративном комплексе требует соответствующего научного подхода, разработки и обоснования новых конструктивно-компоновочных решений и устройств, обеспечивающих их безаварийное функционирование, минимальные потери воды, что особо актуально для крупных каналов переброски стока.

Так, согласно данным, представленным в нашей публикации прошлых лет [1], под крупными каналами понимаются каналы с расходами воды $Q \geq 100$ м³/с. Например, к таким каналам можно отнести Большой Ставропольский канал (БСК) с расходом 150–180 м³/с, Алейский магистральный канал с расходом 127,0 м³/с, Донской (ДМК) с расчетным расходом 200–250 м³/с (в апреле – мае), Терско-Кумский (ТКК) с расходом в голове 100 м³/с и многие другие. Годовой объем переброски стока крупных каналов составляет 11,0 км³/год.

В таблице 1 представлена классификация крупных каналов переброски стока, предложенная в работе И. А. Шикломанова, О. Л. Марковой [2], по категориям в зависимости от объема перебрасываемой воды, длины трассы канала и площади переброски.

Таблица 1 – Классификация каналов переброски стока по масштабу

Table 1 – Classification of runoff transfer canals by scale

Категория переброски	Объем перебрасываемой воды W , км ³ /год	Длина трассы переброски L , км	Сводный показатель масштаба переброски $W \cdot L$, км ³ /год·км
Небольшая	< 1	< 100	< 100
Средняя	1–2,5	100–400	100–1000
Крупная	2,5–5	400–1000	1000–5000
Очень крупная	5–10	1000–2500	5000–25000
Крупнейшая	> 10	> 2500	> 25000

Целью исследований является обобщение данных, в т. ч. накопленных авторами при проведении натурных исследований, об основных технических характеристиках и назначении крупных каналов переброски стока комплексного назначения.

Материалы и методы. В качестве материалов использованы результаты натуральных исследований и обследований авторов, которые выполнялись на сооружениях и трактах каналов Ставропольского края, а также данные литературных источников и некоторые исторические сведения о развитии орошения в Ставрополье.

Результаты и обсуждение. Наибольшая часть территории Ставрополья находится в сухой, очень засушливой, засушливой и неустойчиво влажной зонах [3]. Ранее предлагались различные проекты орошения и обводнения засушливых степей. Только с середины XIX в. специалисты взялись за строительство каналов, был сооружен Куро-Марьинский канал, который протянулся на 18 км. Водный тракт, включающий р. Куру, имел протяженность 200 км [3]. Введен в эксплуатацию после создания Терско-Кумской обводнительно-оросительной системы, где к началу XX в. на Ставрополье орошалось около 12 тыс. га земель.

С 1927 г. началось активное строительство гидротехнических сооружений и орошаемых участков. За 10 лет в крае построили канал Малка – Кура с водозаборным сооружением, Правобережный канал, Курганенское водохранилище, каналы Терско-Кумской системы и др.

После строительства Невинномысского канала р. Егорлык пропускала всего лишь 5 м³/с, а средняя скорость течения в канале составляла 1,2 м³/с. После подачи кубанской воды в р. Егорлык водность ее значительно увеличилась в сравнении с естественной (в 10 раз).

Воды Егорлыка, текущие с водами Кубани по Ставропольской возвышенности, доходят до Манычской впадины. В верховьях Егорлыка с целью регулирования стока сооружено Новотроицкое водохранилище, которое предназначено для создания подпора, обеспечивающего самотечный водозабор в Правоегорлыкский канал (ПЕК) [3]. Он берет начало из Новотроицкого водохранилища и подает воду семи районам Ставрополья, а также в Республику Калмыкию и Ростовскую область.

На берегах водохранилища берет начало обводнительно-оросительная система «Междуречье Кубань – Егорлык». Водные ресурсы Северного Кавказа были распределены неравномерно, в результате Кубань течет к Азовскому морю, Кума – к Каспийскому, Егорлык протекает по Ставрополью, а заканчивается в Ростовской области.

Крупнейшим ирригационным объектом второй половины XX в. стало строительство (в 1957 г.) обводнительно-оросительной системы БСК. Проектом предусматривалось оросить в зоне БСК 210 тыс. га более чем в 100 хозяйствах. Головной водозаборный узел на р. Кубани состоит из земляной плотины высотой 35 м, длиной 2,5 км. Русловое водохранилище включает емкость 36,4 млн м³, паводковый расход водохранилища составляет 1440 м³/с. Пропускная способность БСК – 180 м³/с. Максимальная глубина канала на головном участке при пропуске расчетного расхода – 5,1 м, ширина по дну – 23 м, ширина по урезу воды – 52 м [1].

В эксплуатацию БСК вводился несколькими очередями: БСК-1 (первая очередь с 1969 г.), БСК-2 (вторая очередь с 1981 г.), БСК-3 (третья очередь с 1983 г.), БСК-4 (находится в стадии строительства с 1984 г.). Проектная протяженность межхозяйственных каналов системы БСК – 1700 км с расходом 22 м³/с. Для внутрисистемного перерегулирования стока р. Кубани построено несколько водохранилищ общей емкостью более 1 млрд м³, в т. ч. Кубанское водохранилище полным объемом 620 млн м³.

БСК берет начало из р. Кубани, а заканчивается в восточных районах Ставрополья, охватывает долину между р. Калаус, Маныч и Кума. В этой зоне работает крупнейшая обводнительно-оросительная система. Комплекс гидротехнических сооружений БСК включает Усть-Джегутинский гидроузел на р. Кубани, магистральный канал длиной 288 км с расходом воды 180 м³/с, межхозяйственные распределители фактиче-

ской длиной 666 км (по проекту 1700 км) с расходом от 60 до 20 м³/с, восемь водохранилищ внутрисистемного регулирования суммарным объемом 496 млн м³, групповые водопроводы общей протяженностью 627 км, четыре гидротехнических тоннеля длиной 16 км, пять металлических дюкеров длиной 18,0 км, четыре ГЭС общей мощностью 384 тыс. кВт.

При пересечении балок БСК проходит в насыпях высотой до 25 м, в глубоких выемках до 37 м и однобортных дамбах высотой до 35 м [4]. Расчетный расход в начале канала и до 47-го километра составляет 180 м³/с, от 47-го до 128-го километра – 150 м³/с, на конечном участке от 128-го до 156-го километра – 80 м³/с [3], сброс в р. Калаус осуществляется с расходом 30 м³/с.

Невинномысский канал используется для орошения, обводнения, водоснабжения и представляет собой пример самотечной системы переброски стока. Кубанская вода перебрасывается в р. Большой Егорлык и доходит до р. Западный Маныч для подпитки и опреснения. Канал имеет полигональное сечение с различным заложением откосов ($m = 10; 5; 2,5$). Длина канала – 54 км, расчетный расход – 75 м³/с, средняя скорость потока – 1,04 м/с, глубина – 3,9 м, ширина по дну – 2,0 м, уклон дна русла – 0,00014, ширина по урезу воды составляет 31,6 м, коэффициент шероховатости – 0,025.

Основными сооружениями канала являются: водозаборный узел, в т. ч. щитовая плотина, шугосброс, головной шлюз-регулятор, подающий заданный расход в канал, дюкер, который пропускает воду под руслом реки, ГЭС с напорным трубопроводом, перегораживающее сооружение и боковой водосброс, предназначенный для отключения канала на случай ремонта (при этом вся вода будет проходить через боковой водосброс), гидротехнический туннель, который преодолевает водораздел между бассейнами р. Кубань и Большой Егорлык, концевой шлюз-регулятор, консольный сброс [1, 5].

Канал продолжается через естественное русло р. Большой Егорлык, по которому вода р. Кубани подается на расстояние до 400 км [1]. Сенгилеевское водохранилище сглаживает внутригодовую неравномерность водоподачи.

Головной гидроузел включает водосливную плотину из армированного бетона с сегментными затворами. Высота плотины 3,5 м, она состоит из шести пролетов шириной по 20 м каждый, рассчитанных на пропуск паводкового расхода обеспеченностью 0,1 % (2250 м³/с), водозаборная часть состоит из головного шлюза канала с напором до 4 м и расходом 75 м³/с.

На начало 2001 г. длина всех каналов Ставрополя составляла более 4000 км, в т. ч. облицованных – более 1200 км. На каналах было построено около 7000 гидротехнических сооружений, 900 мостов и 53 крупных водохранилища [3, 6].

На рисунке 1 представлен общий вид реконструированного участка Невинномысского канала при проведении противооползневых и противофильтрационных мероприятий (по состоянию на сентябрь 2019 г.).

По результатам натурных обследований (выполненных в 2019 г.) было установлено, что на участке от ПК 426 до ПК 439 Невинномысского канала выполнены противооползневые мероприятия, заключающиеся в укреплении бортов и ложа канала каменным материалом, под который уложен геотекстиль. Просадок и размывов не наблюдается. На ПК 470 проведены работы по подготовке правого откоса канала под устройство защитного покрытия, включающие удаление растительности и выполаживание откоса, отсыпку камня. На участке ПК 470 + 20 наблюдалось смещение камня и оползание грунтового откоса.

На Невинномысском канале построены следующие гидротехнические сооружения: на 6-м километре двухочковый трубчатый дюкер сечением 3,2 × 3,4 м; на 14-м километре – Свистухинская ГЭС; на 36-м километре – тоннель протяженностью 6 км, вы-

сотой 5,2 м, шириной 4,8 м. В 1988 г. была построена вторая нитка тоннеля. Общая протяженность трассы сброса Невинномысского канала в Сенгилеевское водохранилище емкостью 805 млн м³ составляет 10,7 км [1, 3].



Рисунок 1 – Общий вид реконструированного участка Невинномысского канала (автор фото О. А. Баев)

Figure 1 – General view of the reconstructed area of the Nevinnomyssk Canal (photo by O. A. Baev)

Оросительная система «Междуречье Кубань – Егорлык» принята в эксплуатацию в 1975 г., расположена в северо-западной части Ставрополя, гидроузел проходит через р. Кубань и Егорлык.

ПЕК забирает воду из Новотроицкого водохранилища и служит частью Правоегорлыкской обводнительно-оросительной системы (ПЕООС) [1]. ПЕООС включает северо-восточную часть Ставропольского края, два района Ростовской области и западные районы Калмыкии.

Строительство ПЕК и обводнительно-оросительной системы началось в 1950 г., а в 1952 г. состоялся пропуск воды по первым 54 км канала. В 1953 г. был сдан в эксплуатацию Новотроицкий гидроузел, а в 1960 г. ПЕК и 1-я очередь обводнительно-оросительной системы на площади 32 тыс. га [3].

Главное сооружение ПЕК устроено на Новотроицком водохранилище, в его состав входит двухпролетный шлюз-регулятор с двумя отверстиями шириной 6 м, перекрываемыми сегментными затворами. Водозаборный узел – земляная плотина высотой 23 м, водосброс с расходом 230 м³/с с головным шлюзом из трех пролетов шириной по 7 м и быстротоком, шлюз деривационного канала Новотроицкой ГЭС с расходом 20 м³/с.

Строительство ТКК проводилось Теркумводстроем, ранее он использовался для орошения 150 тыс. га пахотных лугов в Ногайской степи и обводнения 1,5 млн га пастбищ. Протяженность трассы канала составила 146 км, расчетный расход воды в голове – 100 м³/с и в хвосте – 75 м³/с. Забирается вода из р. Терек у ст. Павлодольской и сбрасывается в подпертый бьеф плотины на р. Куме у с. Ливокумского, откуда вода подается по Кумо-Манычскому каналу [1].

Русло р. Терек было перекрыто направленным взрывом в 1959 г., в комплекс гидроузла входят следующие основные объекты: плотина длиной 1700 м и высотой

8,5 м [1]; щитовая плотина с четырьмя пролетами, шириной по 12 м каждый, которые перекрываются сегментными затворами и служат для пропуска паводковых вод с расходом до 2060 м³/с; водозаборное сооружение с тремя пролетами по 8 м каждый. Канал был сдан в эксплуатацию осенью 1960 г.

В таблице 2 представлены некоторые обобщенные проектные характеристики наиболее крупных каналов переброски стока, включающие сведения об их протяженности, пропускной способности и объемах переброски стока [1].

Таблица 2 – Наиболее крупные каналы переброски стока

Table 2 – The largest runoff transfer canals

Наименование канала	Река	Год ввода в эксплуатацию	Длина канала, м	Пропускная способность, м ³ /с	Годовой объем переброски стока, км ³
БСК	Кубань	1970	288/480*	180	2,5
ПЕК	Большой Егорлык	1953	123,0	45,0	0,5
ТКК	Терек	1961	146,0	100,0	1,6
Невинномысский канал	Кубань	1948	48,0	75,0	1,9
*Общая протяженность БСК (по проекту).					

В различных литературных источниках [1, 7–10] также отмечается, что фильтрационные потери воды (в т. ч. на крупных каналах переброски стока) остаются значительными, а коэффициент полезного действия некоторых сооружений не превышает 0,80, наблюдается фильтрация через грунтовые дамбы и борта каналов. Частичная реконструкция наиболее опасных участков, проведение берегоукрепительных и противофильтрационных мероприятий привели к уменьшению гидравлической шероховатости, повышению скоростей течения и увеличению расходов на отдельных участках каналов.

Выводы

1 К наиболее крупным каналам Ставрополя можно отнести БСК протяженностью более 200 км с пропускной способностью порядка 180 м³/с. Годовой объем переброски стока по БСК превышает 2,5 км³. Другие каналы уступают БСК как по расходам (ТКК – 100 м³/с, Невинномысский – 75,0 м³/с), так и по годовому объему переброски стока.

2 Исходя из представленных сведений определено, что многие гидротехнические сооружения на каналах построены в период с 1948 по 1970 г., эксплуатируются более 50 лет и нуждаются в проведении реконструкции или капитальном ремонте. Актуальным также является вопрос разработки и создания высокоэффективных противофильтрационных облицовок для снижения потерь воды при транспортировке от водозабора до водопотребителей.

Список источников

1. Косиченко Ю. М. Каналы переброски стока России. Новочеркасск: НГМА, 2004. 470 с.
2. Шикломанов И. А., Маркова О. Л. Проблемы водообеспечения и переброски речного стока в мире. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 293 с.
3. Блохин Н. Ф., Блохина Т. И. Водные ресурсы Ставрополя. Ставрополь: Ставрополькрайводхоз, 2001. 286 с.
4. Бакланова Д. В. Расчет фильтрации через земляные дамбы на проницаемом основании // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный

ресурс]. 2016. № 1(21). С. 196–208. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1072> (дата обращения: 01.09.2022).

5. История развития мелиорации на Северном Кавказе в зоне деятельности Севкавгипроводхоза: сб. науч. тр. Пятигорск: Севкавгипроводхоз, 1998. Вып. 13. 117 с.

6. Коганович Л. Ш. Развитие мелиорации в Ставропольском крае. Пятигорск: Севкавгипроводхоз, 1996. 49 с.

7. Косиченко Ю. М., Чернов М. А. Результаты натурного обследования противофильтрационных облицовок каналов и водоемов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2009. № 42. С. 140–147.

8. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противофильтрационных экранов каналов, водоемов и накопителей / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2015. 65 с. Деп. в ВИНТИ РАН 12.01.15, № 1-B-2015.

9. Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А. Исключение непроизводительных потерь водных ресурсов из оросительной сети за счет использования инновационных облицовочных материалов // Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 91–94. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i10pp91-94>.

10. Исследования гидродинамического воздействия водного потока на защитное покрытие из геосинтетического материала / К. Д. Козлов, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков, Д. В. Козлов // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8, № 1(27). С. 108–117. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.1.9.

References

1. Kosichenko Yu.M., 2004. *Kanaly perebrovski stoka Rossii* [Runoff Transfer Canals in Russia]. Novocherkassk, NGMA, 470 p. (In Russian).

2. Shiklomanov I.A., Markova O.L., 1987. *Problemy vodoobespecheniya i perebrovski rechnogo stoka v mire* [Problems of Water Supply and River Flow Transfer in the World]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 293 p. (In Russian).

3. Blokhin N.F., Blokhina T.I., 2001. *Vodnye resursy Stavropol'ya* [Water Resources of Stavropol Region]. Stavropol, Stavropolkrai vodkhoz Publ., 286 p. (In Russian).

4. Baklanova D.V., 2016. [Calculating filtration through earth dams at permeable base]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(21), pp. 196–208, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1072> [accessed 01.09.2022]. (In Russian).

5. *Istoriya razvitiya melioratsii na Severnom Kavkaze v zone deyatel'nosti Sev-kavgiprovodkhoz: sb. nauch. tr.* [The History of Land Reclamation Development in the North Caucasus in the Zone of Activity of Sevkavgiprovodkhoz: Coll. of Scientific Works]. Pyatigorsk, Sevkavgiprovodkhoz, 1998, iss. 13, 117 p. (In Russian).

6. Koganovich L.Sh., 1996. *Razvitie melioratsii v Stavropol'skom krae* [Land Reclamation Development in Stavropol Territory]. Pyatigorsk, Sevkavgiprovodkhoz Publ., 49 p. (In Russian).

7. Kosichenko Yu.M., Chernov M.A., 2009. *Rezultaty naturnogo obsledovaniya protivofil'tratsionnykh oblitsovok kanalov i vodoemov* [Results of a field survey of impervious linings of canals and reservoir]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 42, pp. 140–147. (In Russian).

8. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2015. *Rekomendatsii po primeneniyu geosinteticheskikh materialov dlya protivofil'tratsionnykh ekranov kanalov, vodoemov i nakopiteley* [Recommendations for the Use of Geosynthetic Materials for Impervious Canals, Reservoirs and Storage Tanks]. Novocherkassk, 65 p., deposited in VINITI RAS on 12.01.2015, no. 1-B-2015. (In Russian).

9. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., 2019. *Isklyuchenie neproizvoditel'nykh poter' vodnykh resursov iz orositel'noy seti za schet ispol'zovaniya innovatsionnykh oblitsovochnykh materialov* [Elimination of unproductive losses of water resources from the irrigation network through the use of modern facing materials]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 10, pp. 91-94, <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i10pp91-94>. (In Russian).

10. Kozlov K.D., Khanov N.V., Fartukov V.A., Kozlov D.V., 2018. *Issledovaniya gidrodinamicheskogo vozdeystviya vodnogo potoka na zashchitnoe pokrytie iz geosinteticheskogo materiala* [Research of hydrodynamic effect of the water flow on the geosynthetic protective blanket]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education], vol. 8, no. 1(27), pp. 108-117, DOI: 10.22227/2305-5502.2018.1.9. (In Russian).

Информация об авторах

Ю. М. Косиченко – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор;

О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the authors

Yu. M. Kosichenko – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor;

O. A. Baev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 14.11.2022.

The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 14.11.2022.

Научная статья
УДК 332.33:631.67

**К вопросу определения границ земель в зоне обслуживания
мелиоративных систем, приоритетных для восстановления орошения**

Алексей Николаевич Рыжаков¹, Дмитрий Викторович Мартынов²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Аннотация. Цель: определить местоположение приоритетных территорий и их площадей для восстановления мелиоративной инфраструктуры и осуществления орошения в Ростовской области. **Материалы и методы.** В ходе исследования был собран и проанализирован массив данных, включающий сведения о мелиорируемых землях, в т. ч. результаты их оценки. Анализ данных производился на основе инструментов геоинформационных систем. **Результаты и обсуждения.** В качестве исходных данных использовались следующие тематические слои: «Мелиорируемые земли», «Фактически орошаемые площади», «Мелиоративное состояние орошаемых земель», «Гидротехнические сооружения оросительных систем». Лимитирующей областью выборки являлся слой административных границ Ростовской области. Пространственный анализ происходил из условия, что на заданной территории приоритетными являются полигоны, соответствующие наилучшим показателям оценки мелиоративного состояния. Следующим этапом было ранжирование полученных областей, исходя из способа водоподачи. В результате проведенного пространственного анализа были определены области земель в разрезе 11 районов. Наиболее перспективными для восстановления орошения, исходя из полученной площади, являются Семикаракорский, Багаевский районы, в которых расположены Багаевская, Нижне-Донская и Азовская оросительные системы. **Выводы.** Приоритетными при проведении мероприятий по реконструкции гидротехнических сооружений, направленных на восстановление орошения, исходя из имеющихся сведений о мелиоративном состоянии сельскохозяйственных земель, являются территории площадью 97730 га. В целях получения более точных и достоверных сведений, необходимых для обоснования выбора мероприятий, направленных на увеличение водообеспеченности и, как следствие, более эффективное расходование бюджетных средств, требуются дополнительные исследования в части наполнения новыми тематическими слоями (плодородие почв, области линейной эрозии и плоскостного смыва и др.) геоинформационной базы данных.

Ключевые слова: мелиорируемый фонд, развитие мелиорации, мелиорируемые земли, оценка мелиоративного состояния, геоинформационные системы, пространственный анализ

Original article

**On issue of determining the boundaries of lands priority
for irrigation restoration in the reclamation systems service area**

Alexey N. Ryzhakov¹, Dmitry V. Martynov²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Abstract. Purpose: to determine the location of priority territories and their areas for reclamation infrastructure restoration and irrigation in Rostov region. **Materials and methods.** In the course of the study, database including information about reclaimed lands, and results of their assessment was collected and analyzed. Data analysis was carried out on the basis of geo-information systems tools. **Results and discussions.** The following thematic layers “Reclaimed lands”, “Actually irrigated areas”, “Irrigated lands ameliorative condition”, “Irrigation Hydraulic structures” were used as initial data. The limiting area of selection was the layer of administrative boundaries of Rostov region. Spatial analysis proceeded from the state that polygons corresponding to the best indicators for assessing the reclamation state are priority in a given territory. The next step was the ranking of the obtained areas, based on the method of water supply. As a result of the spatial analysis, land areas were identified in the context of 11 districts. The most promising for irrigation restoration, based on the area, are Semikarakorsky, Bagaevsky districts, in which the Bagaevskaya, Nizhne-Donskaya and Azov irrigation systems are located. **Conclusions.** Territories with an area of 97,730 hectares are priority during measures for the hydraulic structures reconstruction aimed at restoring irrigation, based on the available information on the reclamation state of agricultural land. To obtain more accurate and reliable information necessary to justify the choice of measures aimed at increasing water supply and, as a result, more efficient spending of budgetary funds, additional research is required in terms of filling geoinformation database with new thematic layers (soil fertility, linear erosion areas and sheet washing, etc.).

Keywords: reclaimed fund, land reclamation development, reclaimed lands, assessment of reclamation state, geoinformation systems, spatial analysis

Введение. Процессы вывода из оборота сельскохозяйственных земель в целом, и мелиорированного фонда в частности, в России в конце XX в. приобрели национальный масштаб, а некоторые тенденции сохраняются и до настоящего времени. В Южном федеральном округе сосредоточено более четверти орошаемых земель России, однако большая часть площадей в настоящее время не поливается. Причем более 75 % выведенных из оборота мелиорированных земель сегодня не поливается по причине неисправности оросительной сети [1].

Одной из крупнейших территориальных мелиоративных структур России является ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз». В Ростовской области им обеспечивается функционирование государственных 35 гидромелиоративных оросительных систем [2, 3].

В 2020 г. завершился срок действия федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». По ее результатам в Ростовской области была произведена реконструкция насосной станции НС-42 в Веселовском районе и ряда объектов Донского магистрального канала и его Пролетарской ветви, завершён комплекс работ на Нижне-Маньчской оросительной системе. Также в х. Арпачин была введена в эксплуатацию новая плавучая насосная станция (НС) «Арпачин-1», обеспечивавшая подачу воды на рисовые севообороты [4].

В рамках Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации (2022–2030 годы) дальнейшее развитие и восстановление мелиоративного комплекса продолжится в ходе намеченных 22 основных мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов. План предусматривает реконструкцию на пяти государственных оросительных системах Ростовской области: Донском магистральном канале (2-я очередь II этапа реконструкции и 2-я очередь III этапа реконструкции), Нижне-Донской, Багаевской, Большовской, Садковской и Верхне-Сальской оросительных системах [5].

Все мероприятия, предусмотренные данной программой, направлены в первую

очередь на повышение водообеспеченности сельхозтоваропроизводителей и прочих водопотребителей. Однако необходимо отметить, что определить, чем обусловлен выбор тех или иных сооружений оросительных сетей для реконструкции, не всегда представляется возможным.

Разработанная специалистами ФГБНУ «РосНИИППМ» технология определения границ сельскохозяйственных земель, приоритетных для восстановления орошения, позволит обосновать выбор объектов оросительных систем для реконструкции, выявив приоритетные участки сельскохозяйственных земель в зоне обслуживания мелиоративных сетей. Целью данного исследования является определение местоположения приоритетных территорий и их площадей для восстановления мелиоративной инфраструктуры с целью осуществления полива.

Материал и методы. В ходе выполнения тематики НИР 2.1.2.2 «Провести анализ дефицита водных ресурсов Европейской территории России и разработать сценарные модели развития орошаемого земледелия с учетом наличия свободных водных ресурсов (на примере Ростовской области)» был собран и проанализирован массив данных, включающий в себя сведения о мелиорируемых землях, в т. ч. их оценку, предоставленные ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», в т. ч. Ростовской гидрогеолого-мелиоративной партией, за 2021 г. Определение границ земель в зоне обслуживания мелиоративных систем, приоритетных для восстановления орошения, производилось на основе инструментов геоинформационных систем. В основе применяемых геопространственных методов лежит использование выборки по расположению (Select By Location), позволяющей выбрать пространственные объекты, основываясь на их положении относительно объектов в другом слое либо слоях.

Результаты и рассуждения. В качестве исходных данных использовались следующие тематические слои: мелиорируемые земли (потенциально орошаемые), фактически орошаемые площади, мелиоративное состояние орошаемых земель, гидротехнические сооружения оросительных систем.

Слой «Мелиорируемые земли (потенциально орошаемые)» представляет собой набор полигонов, отображающих территории, обслуживаемые сооружениями оросительных систем, на которых предусмотрены условия для производства орошения. Слой «Фактически орошаемые площади» представляет собой набор полигонов, отображающих территории, на которых производился фактический полив сельскохозяйственных угодий. Слой «Оценка мелиоративного состояния» представляет собой набор полигонов, отображающих хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное состояние земель по уровню грунтовых вод, засолению и солонцеватости. Источником данных сведений, включая атрибутивную информацию, являются результаты мониторинга, проведенного в 2021 г. Ростовской гидрогеолого-мелиоративной партией, являющейся филиалом ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз». Слой «Гидротехнические сооружения оросительных систем» включает в себя точечные и линейные объекты, характеризующие гидротехнические сооружения оросительных систем (каналы, водовыпуски и НС). В качестве лимитирующей области выборки использовался слой административных границ Ростовской области.

Пространственный анализ происходил из условий, что на заданной территории приоритетными являются полигоны, соответствующие наилучшим показателям оценки мелиоративного состояния. Порядок действий был следующим: сначала из полигона мелиорируемых угодий происходило исключение области, соответствующей фактически поливаемым площадям, а затем исключались области, выходящие за границу полигона, соответствующего области хорошей оценки мелиоративного состояния. На рисунке 1 приведена область приоритетных земель исходя из заданных условий на территории Азовского района.

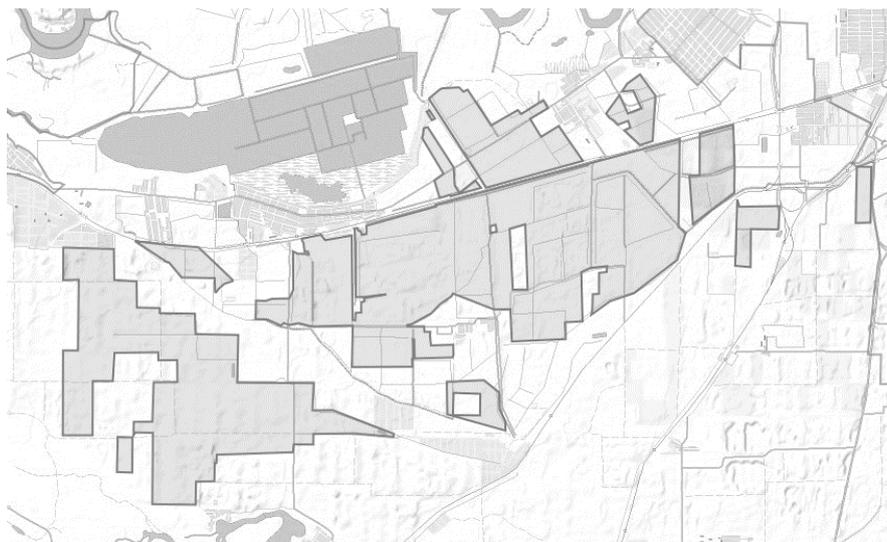


Рисунок 1 – Приоритетные земли сельскохозяйственного назначения для восстановления орошения в Азовском районе

Figure 1 – Priority agricultural lands for irrigation restoration in Azov region

Следующим этапом было ранжирование полученных областей, исходя из способа водоподачи. Подразумевалось, что машинный водоподъем приведет к удорожанию сельскохозяйственного производства в связи с необходимостью оплачивать воду, поданную таким образом. Под понятием водоподачи НС 1-го порядка подразумевается подача воды в магистральные каналы головными насосными агрегатами. В результате было получено две группы полигональных объектов, характеризующих приоритетные территории для восстановления орошения, представленные на рисунке 2.



- – земли сельскохозяйственного назначения, вовлекаемые в орошение с подачей воды самотеком и НС 1-го порядка;
- – земли сельскохозяйственного назначения, вовлекаемые в орошение с подачей воды НС 2-го порядка

Рисунок 2 – Приоритетные земли сельскохозяйственного назначения для восстановления орошения исходя из способа водоподачи в Азовском районе

Figure 2 – Priority agricultural lands for irrigation restoration based on the method of water supply in Azov region

В результате проведенного пространственного анализа были выявлены области земель для восстановления на них орошения и осуществлена их оценка исходя из способа водоподачи на территории оросительных систем Ростовской области в разрезе административных границ 11 районов. Данные сведения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Площади сельскохозяйственных земель, приоритетных для восстановления орошения, исходя из способа водоподачи в Ростовской области

В га

Table 1 – Areas of agricultural land, priority for irrigation restoration, based on the method of water supply in Rostov region

In ha

Наименование района	Площадь мелиорируемых земель	Площадь земель сельскохозяйственного назначения с подачей воды самотеком и НС 1-го порядка	Площадь земель сельскохозяйственного назначения с подачей воды НС 2-го порядка
Азовский	41141	4044	2081
Аксайский	8009	3610	–
Багаевский	32447	17035	–
Веселовский	24149	8775	556
Волгодонской	39578	9330	2540
Константиновский	2493	–	122
Мартыновский	27307	1934	11250
Песчанокопский	3461	2770	–
Пролетарский	30889	1115	–
Сальский	13134	9237	1659
Семикаракорский	41779	13640	9032
Всего	264387	63912	25581

Наиболее перспективными для восстановления орошения, исходя из полученной площади, являются Семикаракорский, Багаевский районы, в которых расположены Багаевская, Нижне-Донская и Азовская оросительные системы.

Выводы. Как видно из полученных результатов, приоритетными при проведении мероприятий по реконструкции гидротехнических сооружений, направленных на восстановление орошения, исходя из имеющихся сведений об оценке мелиоративного состояния сельскохозяйственных земель, являются выявленные авторами исследования территории площадью 97730 га.

В целях получения более точных и достоверных сведений, необходимых для обоснования выбора мероприятий, направленных на увеличение водообеспеченности водопотребителей и, как следствие, более эффективное расходование бюджетных средств, требуются дополнительные исследования в части наполнения новыми тематическими слоями (плодородие почв, области линейной эрозии и плоскостного смыва и др.) геоинформационной базы данных, используемой в качестве исходной информации для пространственного анализа.

Список источников

1. Шевченко В. А., Бородычев В. В., Лытов М. Н. Варианты реконструкции гидромелиоративных систем на бывших мелиорированных длительно не используемых сельскохозяйственных землях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4(60). С. 313–327. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-31.

2. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. 283 с.

3. ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» // Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/fgbu/95> (дата обращения: 21.09.2022).

4. Время оптимальных решений [Электронный ресурс]. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/250926372> (дата обращения: 21.09.2022).

5. ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» начало подготовку к масштабной реконструкции государственных оросительных систем области [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/about/news/129112> (дата обращения: 21.09.2022).

References

1. Shevchenko V.A., Borodychev V.V., Lytov M.N., 2020. *Varianty rekonstruktsii gidromeliorativnykh sistem na byvshikh meliorirovannykh dlitel'no ne ispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh* [Variants of reconstruction of irrigation and drainage systems on former reclaimed agricultural lands for a long time]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 4(60), pp. 313-327, DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-31. (In Russian).

2. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya* [Irrigation Systems of Russia: from Generation to Generation: monograph]. In 2 parts, pt. 1, Novocherkassk, RosNIIPM, 283 p. (In Russian).

3. FGBU “Upravlenie “Rostovmeliovodkhoz” [FGBU “Management “Rostovmeliovodkhoz”]. *Informatsionnyy portal FGBNU VNII “Raduga”* [Information Portal of FGBNU VNII “Rainbow”], available: <https://inform-raduga.ru/fgbu/95> [accessed 21.09.2022]. (In Russian).

4. *Vremya optimal'nykh resheniy* [Time of optimal solutions], available: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/250926372> [accessed 21.09.2022]. (In Russian).

5. FGBU “Upravlenie “Rostovmeliovodkhoz” *nachalo podgotovku k masshtabnoy rekonstruktsii gosudarstvennykh orositel'nykh sistem oblasti* [Federal State Budgetary Institution “Department “Rostovmeliovodkhoz” began preparations for a large-scale reconstruction of the regional state irrigation systems], available: <https://inform-raduga.ru/about/news/129112> [accessed 21.09.2022]. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Рыжаков – научный сотрудник;

Д. В. Мартынов – младший научный сотрудник.

Information about the authors

A. N. Ryzhakov – Researcher;

D. V. Martynov – Junior Researcher.

Вклад авторов: А. Н. Рыжаков произвел обзор источников, собрал и обработал данные, проанализировал результаты, написал статью. Д. В. Мартынов произвел обзор источников, собрал и обработал данные, участвовал в написании статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: A. N. Ryzhakov reviewed the sources, collected and processed the data, analyzed the results, wrote the article. D. V. Martynov reviewed the of sources, collected and processed the data, participated in writing the article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.10.2022; одобрена после рецензирования 25.10.2022; принята к публикации 10.11.2022.

The article was submitted 19.10.2022; approved after reviewing 25.10.2022; accepted for publication 10.11.2022.

Научная статья

УДК 631.674.6

Расположение зон увлажнения почвы при капельном поливе многолетних плодовых культур

Андрей Сергеевич Штанько

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

Аннотация. Цель: обоснование схемы расположения зон увлажнения почвы при капельном поливе многолетних культур для молодого шпалерного яблоневого сада. **Материалы и методы.** Яблоневый сад возрастом 3 года оборудован шпалерной системой и расположен на землях ООО «Задонье» Семикаракорского района Ростовской области. Обоснование параметров поливного модуля проводилось с использованием разработанных при участии автора методики прогнозирования параметров корневых систем плодовых культур, методики прогнозирования контуров увлажнения почвы и методики обоснования параметров поливного модуля для капельного полива плодовых культур. **Результаты.** Установлено, что в рассматриваемых почвенных и климатических условиях заглубленность границы зоны расположения основной части корней составляет 0,62 м, радиус зоны расположения основной части корневой системы – 0,83 м, удаленность границы расположения приштамбовой зоны корневой системы – 0,13 м. Построенная схема корневой системы в горизонтальной проекции иллюстрирует область рекомендуемого расположения зон увлажнения. При определении параметров зон влажности почвы рассчитан диаметр зоны влажности – 0,65 м, соответствующий требуемой глубине 0,62 м. Установлена требуемая площадь увлажнения, которая должна составлять не менее 1,35 м², или 51 % от площади питания культуры. При этом для полива одного растения необходимо сформировать в почвенном пространстве четыре локальных зоны увлажнения. **Выводы.** В результате аналитического исследования были определены параметры корневых систем возделываемых плодовых культур и контуров увлажнения почвы, формирующихся в почвенном пространстве садового участка, сопоставление их позволило обосновать схему расположения зон увлажнения почвы, параметры которых удовлетворяют потребностям выращиваемых плодовых культур в рассмотренных почвенных, климатических и технологических условиях садового участка.

Ключевые слова: капельное орошение, плодовый сад, схема посадки, площадь питания, зона капельного увлажнения, коэффициент увлажнения территории

Original article

Location of soil moisture zones during drip irrigation of perennial fruit crops

Andrey S. Shtanko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

Abstract. Purpose: substantiation of the layout of soil moisture zones during drip irrigation of perennial crops for a young trellis apple orchard. **Materials and methods.** The 3-year-old apple orchard is equipped with a trellis system and is located on the lands of Zadonye LLC, Semikarakorsk district, Rostov region. The substantiation of the parameters of the irrigation module was carried out using the methodology developed with the participation of the author for predicting the parameters of the root systems of fruit crops, the methodology for

predicting soil moisture contours and the methodology for substantiating the parameters of the irrigation module for drip irrigation of fruit crops. **Results.** It has been determined that under the considered soil and climatic conditions, the boundary depth of the location zone of the main part of the roots is 0.62 m, the radius of the location zone of the main part of the root system is 0.83 m, the distance of the boundary of the location of the near-stem zone of the root system is 0.13 m. The constructed diagram of the root system in a horizontal projection illustrates the area of the recommended location of moisture zones. When determining the parameters of soil moisture zones, the diameter of the moisture zone was calculated – 0.65 m, corresponding to the required depth of 0.62 m. The required moistening area was established, which should be at least 1.35 m², or 51 % of the crop nutrition area. At the same time, for watering one plant, it is necessary to form four local moisture zones in soil space. **Conclusions.** As a result of the analytical study, the parameters of the root systems of cultivated fruit crops and soil moisture contours formed in the soil space of the garden plot were determined, their comparison made it possible to substantiate the layout of soil moisture zones, the parameters of which meet the needs of cultivated fruit crops in the considered soil, climatic and technological conditions of the garden site.

Keywords: drip irrigation, orchard, planting scheme, feeding area, drip moisture zone, territory moisture coefficient

Введение. Имеющийся опыт культивирования плодовых садов с использованием технологии капельного орошения показывает примеры как высокой эффективности применения систем капельного орошения [1], так и незначительной прибавки урожайности от орошения капельным способом [2]. Указанные обстоятельства объясняются несогласованностью формируемых капельной поливной сетью зон увлажнения почвы с потребностями корневых систем многолетних плодовых культур, которые характеризуются значительной площадью питания (от 2 до 10 м² и более) [3–5]. Традиционно используемая для капельного полива овощных культур однорядная схема с одной или двумя капельницами на каждое растение, нашедшая широкое применение и при капельном поливе плодовых садов, не всегда обеспечивает формирование зон увлажнения почвы, параметры которых соответствуют потребностям многолетних плодовых культур [6]. Устранение указанного несоответствия является резервом для повышения урожайности плодовых культур, выращиваемых при капельном орошении. В связи с этим задача обоснования схемы расположения зон увлажнения почвы при капельном поливе многолетних плодовых культур актуальна и имеет практическую значимость для повышения эффективности возделывания плодовых культур.

Материалы и методы. Обоснование схемы расположения зон увлажнения почвы проводилось для садового квартала, находящегося на землях ООО «Задонье» Семикакорского района Ростовской области. Климатические условия территории Семикакорского района соответствуют характеристикам степной природно-климатической зоны с коэффициентом природного увлажнения территории $k_{\text{увл}}$ от 0,4 до 0,45. Почвы садового участка представлены южным среднemosным тяжелосуглинистым черноземом с содержанием глинистых частиц $(\overline{W_r})_{1\text{м}} = 53,0$ % МСП, наименьшей влагоемкостью $(\overline{W_{\text{НВ}}})_{1\text{м}} = 27,1$ % МСП, объемной массой $(\overline{\gamma_{\text{об}}})_{1\text{м}} = 1,34$ т/м³ и мощностью гумусового слоя $h_{\text{гум}} = 0,68$ м. Сад соответствует современным требованиям, предъявляемым к суперинтенсивным садам, возделываемым по индустриальным технологиям. В насаждении культивируется яблоня сорта Женева на карликовом подвое М9. Планировкой сада предусмотрена посадка яблоневых растений по схеме 3,3 × 0,8 м. Растения находятся в возрасте $t_p = 3$ года, вступление в полное плодоношение планируется

в возрасте $t_{п/п} = 4$ года. Форма кроны округлая при среднем диаметре $D_{кр} = 0,8$ м и высоте растения $H_p = 2,8$ м. Фото фрагмента сада представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фото фрагмента молодого яблоневого сада (автор фото А. С. Штанько)

Figure 1 – Photo of a fragment of an young apple orchard (photo by A. S. Shtanko)

В соответствии с климатическими и почвенными условиями орошаемого участка, а также с учетом агротехнических требований культивируемых яблоневых культур поливной модуль должен обеспечить следующие влажностные характеристики зон капельного увлажнения почвы: средняя допозливная влажность в пределах метрового почвенного слоя $\beta_{д/п} = 0,7$ $(\overline{W}_{НВ})_{1м} = 0,7 \cdot 27,1 \% \text{ МСП} = 18,97 \% \text{ МСП}$, средняя постполивная влажность почвы в увлажняемом почвенном пространстве $\beta_{п/п} = 0,9$ $(\overline{W}_{НВ})_{1м} = 0,9 \cdot 27,1 \% \text{ МСП} = 24,39 \% \text{ МСП}$.

При обосновании схемы расположения зон увлажнения почвы учитывались климатические, почвенные, фитологические и технологические условия территории сада. Обоснование схемы расположения зон увлажнения почвы проводилось с использованием разработанных при участии автора методик: прогнозирования параметров корневых систем плодовых культур, прогнозирования контуров увлажнения почвы и обоснования параметров поливного модуля для капельного полива плодовых культур [6–9].

Результаты и обсуждение. На первом этапе необходимо определить параметры зоны рекомендуемого расположения контуров влажности почвы, в которой влага будет наиболее эффективно использоваться корневой системой растения. По глубине эта зона ограничивается глубиной заложения основной части корневой системы. Заглубленность нижней границы зоны расположения основной части корневой системы $(h_k)_{о/ч}$, м, определим по зависимости [7]:

$$(h_k)_{о/ч} = 0,25 \cdot \Pi_{п/у} \cdot k_{кл/у} \cdot \Pi_{р/у} \cdot (t_p / t_{п/п})^{0,15},$$

где $\Pi_{п/у}$ – параметр, определяющий влияние почвенных условий на заглубленность основной части корней яблони; $\Pi_{п/у} = (k_{п/у})_1 \cdot (k_{п/у})_2$;

$(k_{п/у})_1$ – коэффициент, характеризующий влияние почвенных условий на заглуб-

ленность нижней границы зоны основной части (массы) корневой системы, определяемый по мощности гумусированного (перегнойно-аккумулятивного) слоя ($h_{\text{гум}} = 0,40 \dots 0,85$ м); $(k_{\text{п/у}})_1 = 1,0 + 0,61 \cdot h_{\text{гум}}$;

$(k_{\text{п/у}})_2$ – коэффициент почвенных условий, определяемый содержанием в почве физической глины ($W_{\text{г}} = 20 \dots 75$ % МСП); $(k_{\text{п/у}})_2 = 1,85 - 0,006 \cdot W_{\text{г}}$;

$k_{\text{кл/у}}$ – коэффициент, характеризующий климатические условия произрастания яблоневых культур, определяемый по величине коэффициента природного увлажнения территории ($k_{\text{увл}} = 0,4 \dots 1,0$); $k_{\text{кл/у}} = 1,80 - k_{\text{увл}}$;

$\Pi_{\text{р/у}}$ – параметр, характеризующий влияние фитологических условий на заглубленность корней, определяемый показателями роста растения через коэффициенты роста подвоя $k_{\text{под}}$ и привоя $k_{\text{пр}}$; $\Pi_{\text{р/у}} = k_{\text{под}} \cdot k_{\text{пр}}$;

$k_{\text{под}}$ – коэффициент, определяющий влияние роста подвоя на заглубленность корней, принимается для слаборослых $k_{\text{под}} = 0,94 \pm 0,04$, для среднерослых подвоев яблоневых культур $k_{\text{под}} = 1,13 \pm 0,06$;

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент влияния роста привоя на заглубленность корневой системы яблоневых культур, принимается для слаборослых привоев равным $1,03 \pm 0,05$, для среднерослых $k_{\text{пр}} = 1,16 \pm 0,08$.

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{п/у}} &= (k_{\text{п/у}})_1 \cdot (k_{\text{п/у}})_2 = (1,0 + 0,61 \cdot h_{\text{гум}}) \cdot (1,85 - 0,006 \cdot W_{\text{г}}) = \\ &= (1,0 + 0,61 \cdot 0,68) \times (1,85 - 0,006 \cdot 53,0) = 2,17, \end{aligned}$$

$$k_{\text{кл/у}} = 1,80 - 0,45 = 1,35,$$

$$\Pi_{\text{р/у}} = 0,90 \cdot 0,98 = 0,88,$$

$$(h_{\text{к}})_{\text{о/ч}} = 0,25 \cdot 2,13 \cdot 1,30 \cdot 0,98 \cdot (10/5)^{0,15} = 0,62 \text{ м.}$$

В горизонтальной проекции зона рекомендуемого расположения контуров влажности почвы с одной стороны ограничивается приштамбовой зоной, в которой нет поглощающих корней, а с другой стороны – границей зоны расположения основной части корневой системы дерева. Расчет необходимых параметров корневой системы проведен в следующей последовательности.

1 Средний диаметр корневой системы $\bar{D}_{\text{к/с}}$, м, определен из соотношения [7]:

$$\begin{aligned} \bar{D}_{\text{к/с}} &= \left[(1,0 + 0,61 \cdot h_{\text{гум}}) \cdot (1,85 - 0,006 \cdot W_{\text{г}}) \cdot (1,08 - 0,8 \cdot \frac{(h_{\text{к}})_{\text{о/ч}}}{H_{\text{п}}}) \cdot (1,9 - k_{\text{увл}}) \times \right. \\ &\quad \left. \times (t_{\text{п/п}} / t_{\text{р}})^{0,15} \right] \cdot \bar{D}_{\text{кр}} = [(1,0 + 0,61 \cdot 0,68) \cdot (1,85 - 0,006 \cdot 53,0) \times \\ &\quad \times (1,08 - 0,8 \cdot 0,62/2,8) \cdot (1,9 - 0,45) \cdot (4/3)^{0,15}] \cdot 0,8 = 2,37 \text{ м.} \end{aligned}$$

2 Средний радиус корневой системы составил $R_{\text{к/с}} = 0,5 \bar{D}_{\text{к/с}} = 0,5 \cdot 2,37 = 1,185$ м.

3 Удаленность границы зоны расположения основной части корней корневой системы $(R_{\text{к/с}})_{\text{о/ч}}$, м, определена по зависимости [7]:

$$(R_{\text{к/с}})_{\text{о/ч}} = 0,70 \cdot \left[\frac{t_{\text{р}} - 1}{t_{\text{п/п}} - 2} \right]^{0,16} \cdot R_{\text{к/с}} = 0,70 \cdot \left[\frac{3 - 1}{4 - 2} \right]^{0,16} \cdot 1,185 = 0,83 \text{ м.}$$

4 Удаленность границы расположения приштамбовой зоны корневой системы $(R_{\text{к/с}})_{\text{п/ш}}$, м, установлена по соотношению [7]:

$$(R_{к/с})_{п/ш} = 0,10 \cdot R_{к/с}^{1,5} \cdot \left[\frac{t_p - 1}{t_{п/п} - 2} \right]^{0,3} = 0,10 \cdot 1,185^{1,5} \cdot \left[\frac{3 - 1}{4 - 2} \right]^{0,3} = 0,13 \text{ м.}$$

Схема горизонтальной проекции корневой системы ряда яблоневых культур приведена на рисунке 2.

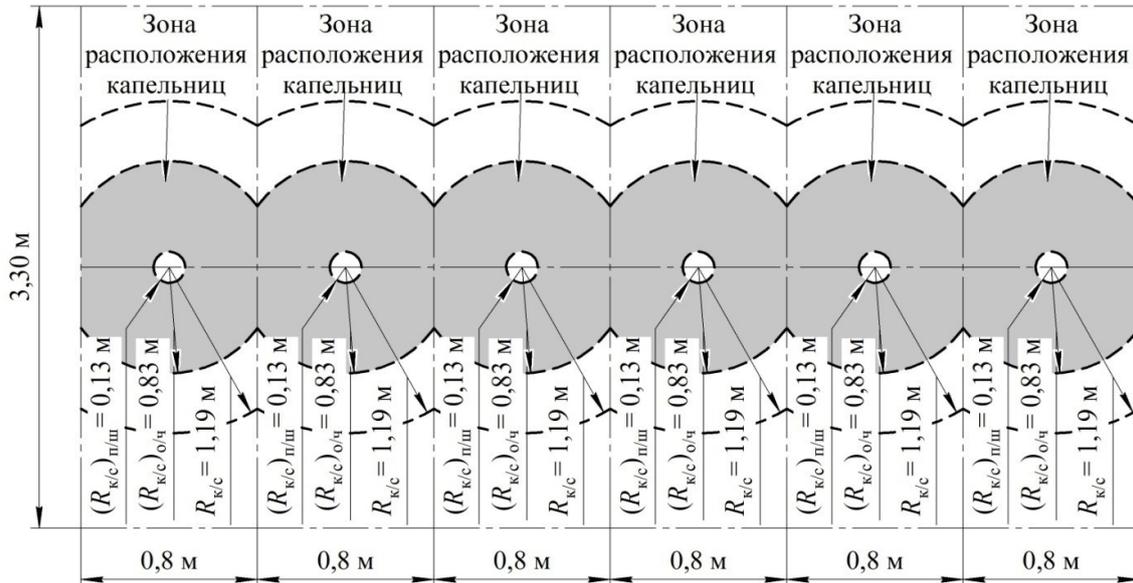


Рисунок 2 – Схема корневой системы яблоневых культур в горизонтальной проекции

Figure 2 – Scheme of the root system of apple trees in horizontal projection

На втором этапе определяем параметры контуров влажности, формируемых в почвенных и технологических условиях рассматриваемого садового насаждения.

1 Поливную норму, подаваемую на одну капельницу для создания контура глубиной $h_{кон} = (h_k)_{о/ч} = 0,62$ м, определили по зависимости [8]:

$$\begin{aligned} (N_{пол})_{кап} &= 0,00196 \cdot \gamma_{об} \cdot h_{кон}^3 \cdot (0,0765 \cdot W_{г/ч}^{0,6} + 0,0292 \cdot W_{НВ})^2 \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п}) = \\ &= 0,00196 \cdot 1,30 \cdot 0,62^3 \cdot (0,0765 \cdot 53,0^{0,6} + 0,0292 \cdot 27,1)^2 \cdot (24,39 - 18,97) = \\ &= 0,009 \text{ м}^3/\text{кап.}, \text{ или } 9 \text{ л/кап.} \end{aligned}$$

2 Расчет диаметра контура влажности произведен по зависимости вида [9]:

$$\begin{aligned} d_{кон} &= 0,5 \cdot h_{кон} \cdot (0,583 + 0,009 \cdot W_{г/ч} + 0,038 \cdot W_{НВ}) = 0,5 \cdot 0,62 \cdot (0,583 + \\ &+ 0,009 \cdot 53,0 + 0,038 \cdot 27,1) = 0,65 \text{ м.} \end{aligned}$$

3 Площадь горизонтальной проекции локального контура капельного увлажнения почвы определена по зависимости [9]:

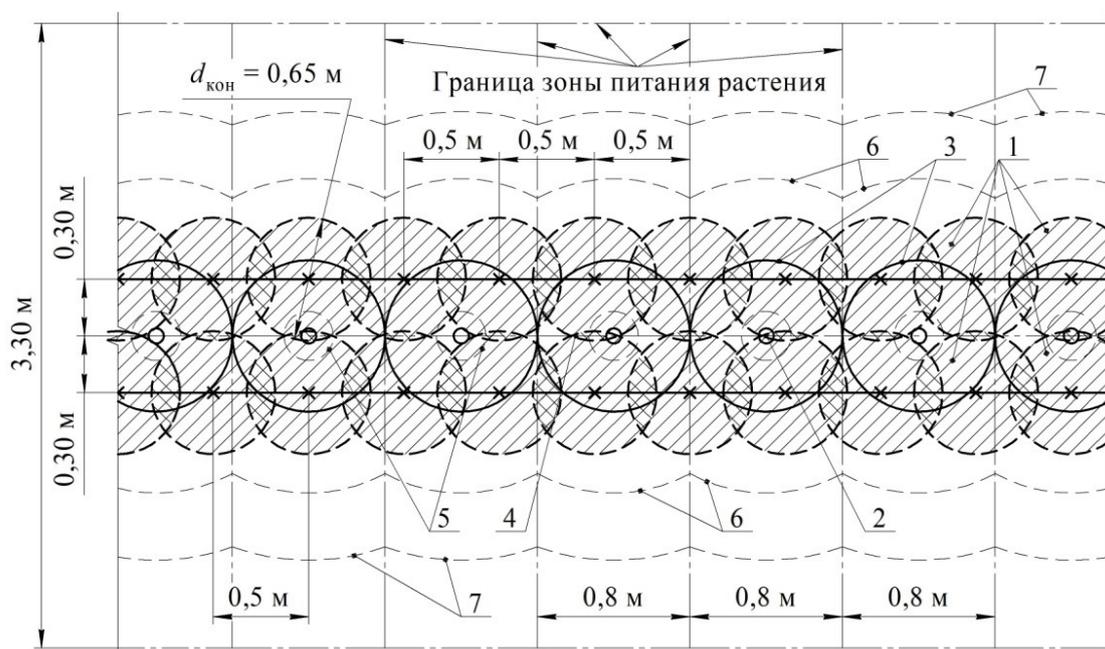
$$\begin{aligned} \omega_{кон} &= 0,785 \cdot (0,5 \cdot h_{кон} \cdot (0,583 + 0,009 \cdot W_{г/ч} + 0,038 \cdot W_{НВ}))^2 = \\ &= 0,785 \cdot (0,5 \cdot 0,62 \cdot (0,583 + 0,009 \cdot 53,0 + 0,038 \cdot 27,1))^2 = 0,33 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

На третьем этапе обоснования было определено количество локальных зон капельного увлажнения почвы, которые необходимо разместить в зоне питания каждого дерева в насаждении. Для этого вычислена требуемая доля увлажняемой площади от площади питания яблоневой культуры по зависимости [6]:

$$\alpha_{увл} = 0,915 - 0,90 \cdot k_{увл} = 0,915 - 0,90 \cdot 0,45 = 0,51, \text{ или } 51 \text{ \%}.$$

Площадь питания каждого растения в саду при схеме посадки деревьев $\omega_{пит} = B_{м/р} \times L_{м/р} = 3,3 \times 0,8$ м составила $\omega_{пит} = 2,64 \text{ м}^2$. Площадь капельного увлажнения почвы с учетом значения $\alpha_{увл}$ должна составить $\omega_{увл} \geq \omega_{пит} \cdot 0,51 \geq 2,64 \cdot 0,51 \geq 1,35 \text{ м}^2$.

Определим необходимое количество локальных зон увлажнения почвы: $n = \omega_{\text{увл}} / \omega_{\text{кон}} = 1,35 / 0,33 = 4,1$ шт. Округляем до ближайшего целого и принимаем четыре зоны увлажнения на каждое дерево. Для размещения четырех зон увлажнения с диаметром контура влажности $d_{\text{кон}} = 0,65$ м необходимо не менее двух поливных линий, формирующих два ряда зон увлажнения почвы. На максимально удаленной от оси ряда растений позиции поливные линии не должны выступать в междурядовое пространство (транспортный коридор) за границы кроны растений. На максимально близкой к оси ряда растений позиции расстояние в плане между поливной линией и осью ряда не должно быть менее 20 см [10]. Кроме этого, капельное увлажнение почвы не должно производиться в приштамбовой зоне. С учетом вышеприведенного схема расположения зон капельного увлажнения почвы имеет вид, представленный на рисунке 3.



1 – горизонтальная проекция зоны влажности почвы; 2 – штамп; 3 – крона;
4 – ось ряда растений; 5 – граница приштамбовой зоны; 6 – граница зоны
расположения основной части корневой системы; 7 – граница корневой системы

Рисунок 3 – Схема расположения зон капельного увлажнения почвы

Figure 3 – Scheme of the location of drip soil moisture zones

Выводы. В результате аналитического исследования были определены параметры корневых систем возделываемых плодовых культур и контуров увлажнения почвы, формирующихся в почвенном пространстве садового участка, сопоставление их позволило обосновать схему расположения зон увлажнения почвы, параметры которых удовлетворяют потребностям выращиваемых плодовых культур в рассмотренных почвенных, климатических и технологических условиях. Полученные результаты исследования будут использованы на следующем этапе при конструировании поливного модуля системы капельного орошения рассмотренного садового участка.

Список источников

1. Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа на капельном орошении / В. В. Бородычев, Н. В. Криволицкая, А. А. Криволицкий, Е. А. Стрижакова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3(27). С. 8–14.

2. Фоменко Т. Г., Попова В. П. Плодоношение яблони при капельном орошении и фертигации на Северном Кавказе // Плодоводство и ягодоводство в России. 2011. Т. 27. С. 275–282.

3. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Капельное орошение яблоневого сада в ООО «Липовские сады» Ольховского района // Интеграционные процессы в науке, образовании и аграрном производстве – залог успешного развития АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО ВГСХА. Волгоград, 2011. Т. 1. С. 202–205.

4. Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа на капельном орошении / В. Бородычев, Н. Криволуцкая, А. Криволуцкий, Е. Стрижакова // Главный агроном. 2017. № 3.

5. Шкура В. Н., Обумахов Д. Л., Лунева Е. Н. Геометрия корневых систем яблони: монография / под ред. В. Н. Шкуры; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: Лик, 2013. 124 с.

6. Штанько А. С., Шкура В. Н. Исследование односточной схемы расстановки капельниц при орошении многолетних древесных плодовых садов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 34–52. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1277> (дата обращения: 01.10.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-34-52>.

7. Васильев С. М., Штанько А. С., Удовидченко Я. Е. Методика прогнозирования параметров корневых систем яблоневых растений // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 76–82. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i8pp76-82>.

8. Пат. 2638312 Российская Федерация, МПК⁶ А 01 G 25/00, СПК¹³ А 01 G 25/00. Способ определения поливной нормы при капельном поливе растений / Щедрин В. Н., Штанько А. С., Шкура В. Н.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2018128077; заявл. 31.07.18; опубл. 01.04.19, Бюл. № 10. 9 с.

9. Шкура В. Н., Штанько А. С. Прогнозирование контуров капельного увлажнения черноземов степного типа почвообразования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 24–38. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1193> (дата обращения: 01.10.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-24-38.

10. Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения». М.: Союзводпроект, 1986. 149 с.

References

1. Borodychev V.V., Krivolutskaya N.V., Krivolutsky A.A., Strizhakova E.A., 2012. *Produktivnost' yablonevogo sada intensivnogo tipa na kapel'nom oroshenii* [Productivity of intensive apple orchard on drip irrigation]. *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(27), pp. 8-14. (In Russian).

2. Fomenko T.G., Popova V.P., 2011. *Plodonoshenie yabloni pri kapel'nom oroshenii i fertigatsii na Severnom Kavkaze* [Apple tree fructification under drip irrigation and fertigation in the North Caucasus]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Fruit and Berry Production in Russia], vol. 27, pp. 275-282. (In Russian).

3. Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2011. *Kapel'noe oroshenie yablonevogo sada v OOO "Lipovskie sady" Ol'khovskogo rayona* [Drip irrigation of an apple orchard in Lipovskie Sady LLC, Olkhovsky district]. *Integratsionnye protsessy v nauke, obrazovanii i agrarnom proizvodstve – zalog uspeshnogo razvitiya APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Integration Processes in Science, Education and Agricultural Production – the Key to the Successful Development of Agro-Industrial Complex: Proc. of the

International Scientific-Practical Conference]. FGOU VPO VGSHA, Volgograd, vol. 1, pp. 202-205. (In Russian).

4. Borodychev V., Krivolutskaya N., Krivolutsky A., Strizhakova E., 2017. *Produktivnost' yablonevogo sada intensivnogo tipa na kapel'nom oroshenii* [Productivity of an intensive-type apple orchard on drip irrigation]. *Glavnyy agronom* [Chief Agronomist], no. 3. (In Russian).

5. Shkura V.N., Obumakhov D.L., Luneva E.N., 2013. *Geometriya kornevykh sistem yabloni: monografiya* [Geometry of Apple Root Systems: monograph]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, Lik Publ., 124 p. (In Russian).

6. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2022. [Investigation of a single-cut layout of emitters for irrigating perennial tree orchards]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 34-52, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1277> [accessed 01.10.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-34-52>. (In Russian).

7. Vasiliev S.M., Shtanko A.S., Udovidchenko Ya.E., 2020. *Metodika prognozirovaniya parametrov kornevykh sistem yablonevykh rasteniy* [Methods for predicting the parameters of the root systems of apple plants]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 8, pp. 76-82, <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i8pp76-82>. (In Russian).

8. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Shkura V.N., 2019. *Sposob opredeleniya polivnoy normy pri kapel'nom polive rasteniy* [A method for Determining the Irrigation Rate for Drip Irrigation of Plants]. Patent PF, no. 2638312. (In Russian).

9. Shkura V.N., Shtanko A.S., 2021. [Prediction of contours of drip moistening of chernozems of the steppe type of soil formation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 24-38, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1193> [accessed 01.10.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-24-38. (In Russian).

10. *Kapel'noe oroshenie: posobie k SNIp 2.06.03-85 "Meliorativnye sistemy i sooruzheniya"* [Drip Irrigation: Guide to SNIp 2.06.03-85 "Irrigation Systems and Structures"]. Moscow, Soyuzvodproekt Publ., 1986, 149 p. (In Russian).

Информация об авторе

А. С. Штанько – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

A. S. Shtanko – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 19.10.2022; принята к публикации 02.11.2022.

The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 19.10.2022; accepted for publication 02.11.2022.

Научная статья
УДК 631.67:631.8

**Влияние доз органических удобрений на динамику
питательных веществ в орошаемом агроценозе**

Валерий Алексеевич Монастырский¹, Алексей Александрович Бабенко²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹valerijmonastyrskij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0881-4282>

²rosniipmshm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

Аннотация. Цель: определить влияние доз органических удобрений на динамику питательных веществ в почве. **Материалы и методы.** В качестве органического удобрения был использован перегнивший навоз крупного рогатого скота. Внесение минеральных удобрений предусматривалось дозой N₁₅P₁₀ совместно с посевом. Исследования проводились в соответствии с действующими нормативами и методиками в Центральной орошаемой зоне Ростовской области в звене орошаемого севооборота «яровая пшеница – кукуруза – горох». Режим орошения предусматривал поддержание влажности почвы на уровне 80 % наименьшей влагоемкости в слое 0,6 м. Сроки проведения исследований – 2017–2019 гг. **Обсуждение.** Внесение навоза в первый год повысило содержание нитратного азота в слое 0–20 см с 20,9 до 27,7 т/га. В контрольном варианте – с 20,9 до 29,4 т/га, в варианте, где вносили 40 т/га навоза, – с 20,5 до 32,6 т/га. В 2018 г. анализ почвенных образцов показал, что содержание в почве питательных веществ по всем вариантам опыта стало значительно ниже, чем было до проведения посевных работ. Урожайность гороха в 2019 г. составила в среднем 2,1 ц/га. Расчетный вынос питательных веществ на 1 га составил N₃₀P₇₀K₅₀. Фактический же анализ почвенных образцов, взятых до посева гороха и после его уборки, показал, что динамика в почве питательных веществ не пропорциональна выносу питательных элементов. **Выводы.** Наблюдениями отмечено, что в исходных условиях содержание в почве питательных веществ по разделенным опытным участкам различается несущественно. В 2019 г. наблюдается существенная разница между содержанием в почве питательных веществ в зависимости от варианта опыта. Также отмечено, что в начале вегетационного периода каждой следующей в звене севооборота культуры содержание в почве питательных веществ частично восполняется.

Ключевые слова: звено севооборота, органические удобрения, динамика питательных элементов, нитратный азот, обменный калий, подвижный фосфор

Original article

Impact of organic fertilizer doses on nutrient dynamics in irrigated agrocenosis

Valery A. Monastyrskiy¹, Alexey A. Babenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹valerijmonastyrskij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0881-4282>

²rosniipmshm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

Abstract. Purpose: to determine the impact of organic fertilizer doses on nutrient dynamics in soil. **Materials and methods.** Decayed cattle manure was used as organic fertilizer. The mineral fertilizers application was provided by a dose of N₁₅P₁₀ together with sowing.

The studies were carried out in accordance with current standards and methods in the Central irrigated zone of Rostov region in the irrigated crop rotation link “spring wheat – corn – peas”. The irrigation regime provided for maintaining soil moisture at the level of 80 % of the minimum moisture capacity in a layer of 0.6 m. The research period was 2017–2019. **Discussion.** The introduction of manure in the first year increased the nitrate nitrogen content in the 0–20 cm layer from 20.9 to 27.7 t/ha. In the control variant it increased from 20.9 to 29.4 t/ha, in the variant where 40 t/ha of manure was applied – from 20.5 to 32.6 t/ha. In 2018, the analysis of soil samples showed that the content of nutrients in soil for all variants of the experiment became significantly lower than it was before sowing. The yield of peas in 2019 averaged 2.1 q/ha. The calculated nutrient removal per 1 ha was $N_{30}P_{70}K_{50}$. The actual analysis of soil samples taken before sowing peas and after its harvesting showed that the nutrient dynamics in soil is not proportional to the nutrient removal. **Conclusions.** Observations noted that under the initial conditions, the content of nutrients in soil in the divided experimental plots differs insignificantly. In 2019, there is a significant difference between the content of nutrients in soil, depending on the variant of the experiment. It was also noted that at the beginning of the growing season of each next crop in the crop rotation link, the content of nutrients in the soil is partially replenished.

Keywords: crop rotation link, organic fertilizers, nutrient dynamics, nitrate nitrogen, exchangeable potassium, mobile phosphorus

Введение. В современных реалиях экономических потрясений и политической разобщенности нередко поднимаются вопросы продовольственной безопасности. И будь то аграрная держава с многомиллионными посевными площадями или страна с песчаными почвами, не пригодными для выращивания продуктов питания, вопрос производства растениеводческой продукции в одном и другом случае остается открытым. Для увеличения валового сбора сельскохозяйственной продукции в аграрном бизнесе давно используются различные виды удобрений, и эффективность их применения неоспорима. Однако любое применение агрохимикатов, будь то удобрения, пестициды и иные препараты для увеличения продуктивности агроценоза, влечет за собой накопление их в почве, растениях, животных, питающихся этими растениями, и, соответственно, в организме человека. Это неоспоримо отравляет как нашу среду обитания, так и самих нас. По этой же причине уже продолжительный период времени сельскохозяйственное производство выделяет в своем секторе экологическое направление получения растениеводческой продукции. Оно предусматривает минимизацию использования агрохимии и стремится к полному отказу от таких элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Однако здесь возникает вопрос об экономической эффективности осуществления такого способа ведения сельского хозяйства. Проанализировав имеющиеся материалы по данному направлению, мы заложили опыты и провели исследование влияния доз органических удобрений на динамику питательных веществ в почве.

Материалы и методы. В качестве органического удобрения был использован перегнивший навоз крупного рогатого скота, отвечающий всем требованиям, которые предъявляются к удобрениям такого рода перед внесением на сельскохозяйственные поля. Отбор почвенных образцов производился перед внесением в почву органического удобрения, за сутки до посева основной культуры и через день после проведения уборки урожая. Отбор почвенных образцов проводился по горизонтам 0–20, 20–40, 40–60 см. Анализ образцов произведен на предмет содержания в почве азота нитратного ($N-NO_3$), фосфора подвижного (P_2O_5), калия обменного (K_2O).

Схема опыта «Определить динамику питательных веществ в почве в зависимости от доз вносимых органических удобрений»: вариант 1 – доза навоза 20 т/га; вариант 2 – доза навоза 30 т/га (контроль); вариант 3 – доза навоза 40 т/га. Внесение минеральных

удобрений по всем вариантам опыта и по годам исследований предусматривалось дозой $N_{15}P_{10}$ совместно с посевом.

Исследования проводились в соответствии с действующими нормативами и методиками с использованием сертифицированных приборов и оборудования в Центральной орошаемой зоне Ростовской области [1–5] на закрепленных опытных участках звена орошаемого севооборота «яровая пшеница – кукуруза – горох». Режим орошения предусматривал поддержание влажности почвы на уровне 80 % наименьшей влагоемкости в слое 0,6 м [6, 7]. Сроки проведения исследований – 2017–2019 гг.

Обсуждение. Внесение навоза проводилось осенью 2016 г. Перед внесением был проведен отбор и анализ почвенных образцов. Предшественник – озимая пшеница. Следующий отбор проводился весной 2017 г. перед посевом яровой пшеницы. Динамика питательных веществ в почве до и после внесения органических удобрений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика питательных веществ в почве после внесения органических удобрений, 2017 г.

В т/га

Table 1 – Nutrient dynamics in soil after organic fertilizer application, 2017

In t/ha

Слой почвы, см	N-NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	до внесения	до посева	до внесения	до посева	до внесения	до посева
20 т/га						
0–20	20,9	27,7	26,7	30,6	376	425
20–40	17,5	24,1	18,9	27,4	340	373
40–60	11,3	13,3	12,6	7,0	298	338
30 т/га (контроль)						
0–20	20,8	29,4	26,6	34,3	378	425
20–40	17,3	25,6	18,7	30,1	335	373
40–60	11,6	14,1	12,5	7,6	298	338
40 т/га						
0–20	20,5	32,6	26,4	38,1	376	425
20–40	17,4	27,4	18,8	32,7	335	373
40–60	11,2	15,1	12,6	8,8	295	338

Как видно из данных таблицы 1, исходное содержание в почве питательных веществ по вариантам опыта между собой различалось незначительно. Однако проведенный анализ почвы, сделанный весной, выявил, что содержание нитратного азота в слое 0–20 см при внесении в почву 20 т/га навоза увеличилось с 20,9 до 27,7 т/га. В контрольном варианте – с 20,9 до 29,4 т/га, в варианте, где вносили 40 т/га навоза, – с 20,5 до 32,6 т/га. Эти показатели также обусловлены своевременной заделкой в почву вносимого органического вещества и его высоким качеством. Динамика увеличения в почве питательных веществ после внесения органического удобрения наблюдалась во всех исследуемых горизонтах по всем вариантам опыта. В 2017 г. после проведения всех необходимых элементов технологии возделывания осуществлялся посев яровой пшеницы. Урожайность ее в среднем составила 25 ц/га. Расчетный вынос питательных веществ на 1 га составил $N_{95}P_{30}K_{80}$. Динамика питательных веществ в почве после уборки не устанавливалась. Следующий отбор почвенных образцов проводили перед посевом кукурузы на зерно весной 2018 г., затем после уборки урожая кукурузы. Динамика питательных веществ в почве представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика питательных веществ в почве в 2018 г.

В т/га

Table 2 – Nutrient dynamics in soil in 2018

In t/ha

Слой почвы, см	N-NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	до посева	после уборки	до посева	после уборки	до посева	после уборки
20 т/га						
0–20	19,3	17,6	25,1	21,1	358	319
20–40	15,9	13,1	16,3	13,7	327	263
40–60	10,7	8,3	11,6	8,6	212	184
30 т/га (контроль)						
0–20	20,8	18,3	26,4	22,1	380	345
20–40	17,8	14,5	18,7	14,7	337	303
40–60	11,6	10,7	12,0	9,5	279	244
40 т/га						
0–20	22,1	19,0	27,3	24,0	391	353
20–40	18,2	14,7	19,2	15,2	351	312
40–60	12,4	11,3	12,9	10,2	310	278

Анализ почвенных образцов показал, что содержание в почве питательных веществ по всем вариантам опыта значительно ниже, чем было до проведения посевных работ. Так, нитратного азота до посева в горизонте 0–20 см содержалось 19,3 т/га, после уборки урожая кукурузы этот показатель снизился до 17,6 т/га. В этом же почвенном горизонте количество подвижного фосфора снизилось на 4 т/га. Обменного калия в конце вегетационного периода кукурузы в рассматриваемом горизонте стало меньше на 39 т/га. Подобная закономерность просматривается по всем рассматриваемым почвенным горизонтам и в отношении всех анализируемых элементов питания. Согласно методике исследований после проведения всех требуемых агротехнических мероприятий по подготовке почвы к посеву гороха весной 2019 г. был произведен отбор почвенных образцов. Анализ полученных результатов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Динамика питательных веществ в почве, 2019 г.

В т/га

Table 3 – Nutrient dynamics in soil in 2019

In t/ha

Слой почвы, см	N-NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	до посева	после уборки	до посева	после уборки	до посева	после уборки
1	2	3	4	5	6	7
20 т/га						
0–20	18,1	14,3	22,4	18,1	332	298
20–40	14,3	12,1	13,9	10,7	287	254
40–60	9,3	7,4	9,8	6,8	210	178
30 т/га (контроль)						
0–20	19,7	16,5	24,1	20,1	346	319
20–40	16,3	12,8	15,2	12,7	317	292
40–60	11,0	8,1	9,6	7,8	262	243

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5	6	7
40 т/га						
0–20	20,2	17,3	25,6	21,5	367	335
20–40	17,0	14,8	15,9	12,7	321	289
40–60	11,8	8,7	10,6	8,6	296	271

Урожайность гороха в 2019 г. была равна в среднем 2,1 ц/га. Расчетный вынос питательных веществ на 1 га составил $N_{30}P_{70}K_{50}$. Фактический же анализ почвенных образцов, взятых до посева гороха и после его уборки, показал, что количество в почве питательных веществ понижается не пропорционально выносу питательных элементов. Так, содержание нитратного азота в слое почвы 0–20 см снизилось с 16,8 до 14,3 т/га, подвижного фосфора – с 22,4 до 18,1 т/га, обменного калия – с 332 до 298 т/га. Подобная динамика прослеживается по всем вариантам опыта во всех рассматриваемых горизонтах.

Выводы. Наблюдениями отмечено, что в исходных условиях содержание в почве питательных веществ по разделенным опытным участкам различается несущественно. Так, весной 2017 г. перед закладкой полевых опытов содержание в слое почвы 0–20 см нитратного азота составляло от 20,9 до 20,5 т/га, подвижного фосфора от 26,7 до 26,4 т/га, обменного калия от 378 до 376 т/га. Такая же динамика прослеживается и по горизонту 20–40 см, и по горизонту 40–60 см. В 2019 г. наблюдается существенная разница между содержанием в почве питательных веществ в зависимости от варианта опыта. Теперь динамика содержания в почве нитратного азота в слое 0–20 см находится в пределах 16,6–20,2 т/га (разница по вариантам 3,6 т/га). Лимиты содержания подвижного фосфора в том же горизонте от 25,6 т/га в варианте, где было внесено 40 т/га навоза, до 22,4 т/га при внесении 20 т/га. По обменному калию – от 367 до 332 т/га.

Еще в качестве наблюдения отмечено, что в начале вегетационного периода каждой следующей в звене севооборота культуры содержание в почве питательных веществ частично восполняется. В 2018 г. после уборки пшеницы в варианте с внесением 20 т/га навоза содержание в слое 0–20 см нитратного азота составляло 17,6 т/га, а весной 2019 г. – 18,1 т/га. В контрольном варианте в том же слое почвы увеличение произошло с 18,3 до 19,7 т/га. В варианте 3 – с 19,0 до 20,2 т/га.

Список источников

1. Агроклиматические ресурсы Ростовской области: справочник / отв. ред. З. М. Русеева. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 251 с.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
3. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко [и др.]. М.: Колос, 1996. 336 с.
4. Система применения удобрений: учеб. пособие / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. Гродно: ГГАУ, 2011. 418 с.
5. ГОСТ 34103-2017. Удобрения органические. Термины и определения (переиздание). М.: Стандартинформ, 2020. 20 с.
6. Бабичев А. Н., Балакай Г. Т., Монастырский В. А. Накопление питательных веществ в почве при возделывании картофеля летней посадки после сидеральных культур // Плодородие. 2015. № 5(86). С. 37–39.
7. Монастырский В. А., Бабичев А. Н. Рост, развитие сидеральных культур и их влияние на агрохимические свойства орошаемых черноземов Ростовской области //

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. № 2(10). С. 21–31. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=638> (дата обращения: 01.10.2022).

References

1. *Agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti: spravochnik* [Agro-climatic Resources of Rostov Region: reference book]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972, 251 p. (In Russian).
2. Dospikhov B.A., 1985. *Metodika polevogo opyta* [Methods of Field Experience]. Moscow, Agropromizdat Publ., 352 p. (In Russian).
3. Moiseichenko V.F. [et al.], 1996. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii* [Fundamentals of Scientific Research in Agronomy]. Moscow, Kolos Publ., 336 p. (In Russian).
4. Lapa V.V. [et al.], 2011. *Sistema primeneniya udobreniy: ucheb. posobie* [System of Fertilizers Application: textbook]. Grodno, GSAU, 418 p. (In Russian).
5. *GOST 34103-2017. Udobreniya organicheskie. Terminy i opredeleniya (pereizdanie)* [Organic fertilizers. Terms and definitions (reprint edition)]. Moscow, Standartinform, 2020, 20 p. (In Russian).
6. Babichev A.N., Balakay G.T., Monastyrsky V.A., 2015. *Nakoplenie pitatel'nykh veshchestv v pochve pri vozdeleyvanii kartofelya letney posadki posle sideral'nykh kul'tur* [Accumulation of nutrients in soil during the summer planting of potato cultivated after green manure crops]. *Plodorodie* [Fertility], no. 5(86), pp. 37-39. (In Russian).
7. Monastyrsky V.A., Babichev A.N., 2013. [Growth and development of green manure crops and their influence on agrochemical properties of irrigated chernozems in Rostov region]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(10), pp. 21-31, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=638> [accessed 01.10.2022]. (In Russian).

Информация об авторах

В. А. Монастырский – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

А. А. Бабенко – младший научный сотрудник.

Information about the authors

V. A. Monastyrskiy – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

A. A. Babenko – Junior Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 09.11.2022; принята к публикации 15.11.2022.

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 09.11.2022; accepted for publication 15.11.2022.

Научная статья

УДК 626.88

Назначение, виды и условия применения, требования к функционированию и состав конструктивных элементов рыбоходно-нерестовых каналов

Виктор Николаевич Шкура¹, Алексей Викторович Шевченко²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Аннотация. Цель: разработка основных положений, понятий и требований в сфере создания и использования рыбоходно-нерестовых каналов, устраиваемых при низконапорных гидроузлах малых, средних и больших рек. **Материалы и методы.** Фактологическую основу настоящей работы составили авторские материалы по частным вопросам исследований, проектирования и эксплуатации Нижне-Донских рыбоходно-нерестовых каналов (Николаевского, Константиновского, проектируемого Кочетовского и строящегося Багаевского). При обобщении частных использовались общепринятые методы научного анализа и синтеза. **Результаты и обсуждение.** Принимая за основу известные частные предложения, сформулировали толкование термина, привели классификацию рыбоходно-нерестовых каналов и определили общие и частные условия их применения. Установлен состав исходной рыбоведческой, гидрологической, топографической и социально-хозяйственной информации, и определены требования к созданию и функционированию рыбоходно-нерестовых каналов, устраиваемых в составе низконапорных речных гидроузлов. Составлен перечень специальных гидротехнических сооружений и конструктивных элементов, обеспечивающих эффективное и бесперебойное функционирование пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов (в разных природно-климатических условиях) по пропуску рыб, совершающих анадромные миграции из нижних бьефов гидроузлов в верхние (в водохранилища руслового типа), и нерест рео-, лито- и фитофильных видов рыб в их трактах. Сформулированы основные требования к конструктивным решениям трактов таких каналов, зон отдыха (отстоя) рыб, входных и выходных (для рыб) оголовков. **Выводы.** Определены назначение, виды и условия применения рыбоходно-нерестовых каналов. Сформулированы требования к компоновочно-конструктивным решениям и основным расходно-скоростным и геометрическим параметрам рыбоходно-нерестовых каналов и обеспечивающих их функционирование основных сооружений и конструктивных элементов.

Ключевые слова: водные экосистемы, ихтиофауна, анадромные рыбы, нерестовые миграции, рыбопропускные сооружения, рыбоходно-нерестовые каналы

Original article

Purpose, types and conditions of application, requirements for operation and composition of structural components of fish passage and spawning channels

Viktor N. Shkura¹, Alexey V. Shevchenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Abstract. Purpose: to develop the main provisions, concepts and requirements in the field of creation and use of fish passage and spawning channels, arranged at low-head waterworks of small, medium and large rivers. **Materials and methods.** The factual basis of this work was the authors' material on particular issues of research, design and operation of the Nizhne-Don fish-passage and spawning canals (Nikolaevsky, Konstantinovskiy, the designed Kochetovskiy and the Bagaevskiy under construction). The generally accepted methods of scientific analysis and synthesis were used when generalizing particulars. **Results and discussion.** Taking the well-known private proposals as a basis, an interpretation of the term was generated, a classification of fish passage and spawning channels was given, and the general and particular conditions for their use were determined. The composition of the initial fishery, hydrological, topographic and socio-economic information has been determined, and the requirements for the creation and operation of fish passage and spawning channels, arranged as part of low-head river waterworks, have been specified. A list of special hydraulic structures and structural components has been compiled to ensure the efficient and uninterrupted functioning of fish passage and spawning channels (in different natural and climatic conditions) at waterworks for the passage of fish that make anadromous migrations from downstream of waterworks to the upper ones (channel-type reservoirs) and spawning of rheo-, litho- and phytophilic fish species in their tracts. The main requirements for the design solutions of such channel paths, fish recreation (setting) areas, input and output heads (for fish) are formulated. **Conclusions.** The purpose, types and conditions for fish passage and spawning channels use are determined. The requirements for layout and design solutions and the main flow rate and geometric parameters of fish passage and spawning channels and the main structures and structural elements that ensure their functioning are formulated.

Keywords: aquatic ecosystems, ichthyofauna, anadromous fish, spawning migrations, fish passage facilities, fish spawning channels

Введение. Возрастающие объем и интенсивность использования ресурсного потенциала водных объектов актуализируют проблему обеспечения экологически безопасного водопользования. Разработка и реализация мер и мероприятий по охране водных биоресурсов (в т. ч. и ихтиофауны) при гидростроительстве предусматривается действующим в Российской Федерации природоохранным законодательством [1, 2].

Создание гидроузлов на водных объектах приводит к кардинальным изменениям исторически сформировавшихся в них экосистем. Значимые изменения претерпевают и биотопы речных систем при устройстве на них каскадов гидроузлов, регулирующих их сток. При этом кардинально изменяются условия обитания и жизнедеятельности анадромных гидробионтов. Негативные последствия изменений среды обитания сказываются как на состоянии ихтиоценоза, так и в целом на состоянии популяций проходных и полупроходных рыб. Препреграждение путей анадромных миграций, ликвидация естественных нерестилищ или ухудшение нерестовых условий на них приводят к снижению объемов естественного воспроизводства популяций и промысловых запасов особо ценных и ценных видов рыб. Указанное имеет место в Азово-Донском рыбохозяйственном бассейне [3, 4]. Частичная нейтрализация вредных воздействий, оказываемых на ихтиофауну каскадом гидроузлов на Нижнем Дону, может быть осуществлена созданием в их составе пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов (РНК) [5, 6].

Несмотря на имеющие место примеры устройства и использования таких рыбопропускных каналов, научно обоснованные нормативы, стандарты и правила по их разработке и использованию отсутствуют [7]. Имеющихся разработок, рекомендаций и руководств по их проектированию и эксплуатации явно недостаточно для создания эффективных конструкций РНК. С учетом отмеченных выше фактов за цель настоящей работы принят синтез основных положений, понятий и требований в сфере создания и использо-

вания РНК, устраиваемых при низконапорных подпорных сооружениях (гидроузлах) малых, средних и больших рек.

Материалы и методы. Эмпирическую основу разработки составили материалы обследований и исследований действующих РНК и материалы их проектных проработок и компоновочно-конструктивных решений. При анализе и обобщениях использованы технологии научно-аналитических исследований.

Результаты и обсуждение. РНК являются видом рыбохозяйственных гидротехнических сооружений, совмещающих функции рыбопропускных сооружений и искусственных нерестилиц. В трактах таких каналов создаются необходимые условия для анадромно-миграционного перемещения рыб в верхние течения рек и их нереста. Различают водопадно-порожистые (обеспечивающие проход рыб в обход природных речных водопадов и порогов) и пригидроузловые (устраиваемые при речных гидроузлах) РНК. Течение водного потока в подобных сооружениях обеспечивается за счет перепада отметок уровней воды в реке, образующегося на водопадных или порожистых ее участках или формируемого плотинами гидроузлов.

В реальной рыбоводческой практике широкое распространение получили пригидроузловые РНК, устраиваемые при низконапорных речных гидроузлах с перепадом отметок уровней воды $\Delta Z \leq 5,0$ м.

При принятии решения о целесообразности и возможности устройства пригидроузловых РНК учитываются рыбоведческие, гидрологические, топографические и социально-хозяйственные условия и др. Первые определяются составом мигрирующих по реке анадромных рыб и подготовленностью их производителей к нересту, расположением трасс нерестового перемещения рыб по руслу реки, особенностями миграционного и нерестового поведения гидробионтов и др. Вторые характеризуются расходно-скоростными параметрами реки на ее участках при гидроузлах и диапазонами колебания уровней воды в верхнем и нижнем бьефах. Третьи определяются по территории возможного размещения РНК на прилегающем к речному гидроузлу участку поймы (по площади, конфигурации и отметкам местности, расположению объектов и особо охраняемых природных зон). Четвертые характеризуются наличием естественных нерестилиц в верхнем течении реки и возможностью использования альтернативных способов воспроизводства рыбных популяций и запасов.

Тракты РНК трассируются в обход комплекса русловых гидротехнических сооружений, речных гидроузлов на прилегающих к ним участках пойм рек. Принципиальная схема компоновочно-конструктивного решения РНК, устраиваемого в составе речного гидроузла, приведена ниже на рисунке 1.

Известный и авторский опыт разработки компоновочно-конструктивных решений и исследований РНК позволяет сформулировать их достоинства и недостатки. К очевидным достоинствам РНК относятся нижеследующие.

1 Высокая степень природоприближенности искусственного водопроводящего сооружения к естественному водотоку (реке). Схожесть средовых условий в трактах каналов с таковыми в руслах рек не только обеспечивает возможности для свободной миграции гидробионтов, но и снижает вероятность проявления у производителей рыб стрессовых состояний при их миграционных перемещениях и нересте. При этом условия обитания и жизнедеятельности маточного поголовья рыб в рыбопропускных каналах по основным (определяющим) характеристикам как в качественном, так и в количественном отношении могут превосходить имеющие место в речных руслах.

2 Большое относительно рыбоходов и рыбоподъемных рыбопропускных сооружений (рыбопропускных шлюзов и рыбоподъемников) жизненно-акваториальное пространство их трактов формирует базу и условия для захода, пребывания и (или) нереста

в них значительно большего количества производителей рыб различных видов и размеров без проявления негативных последствий.

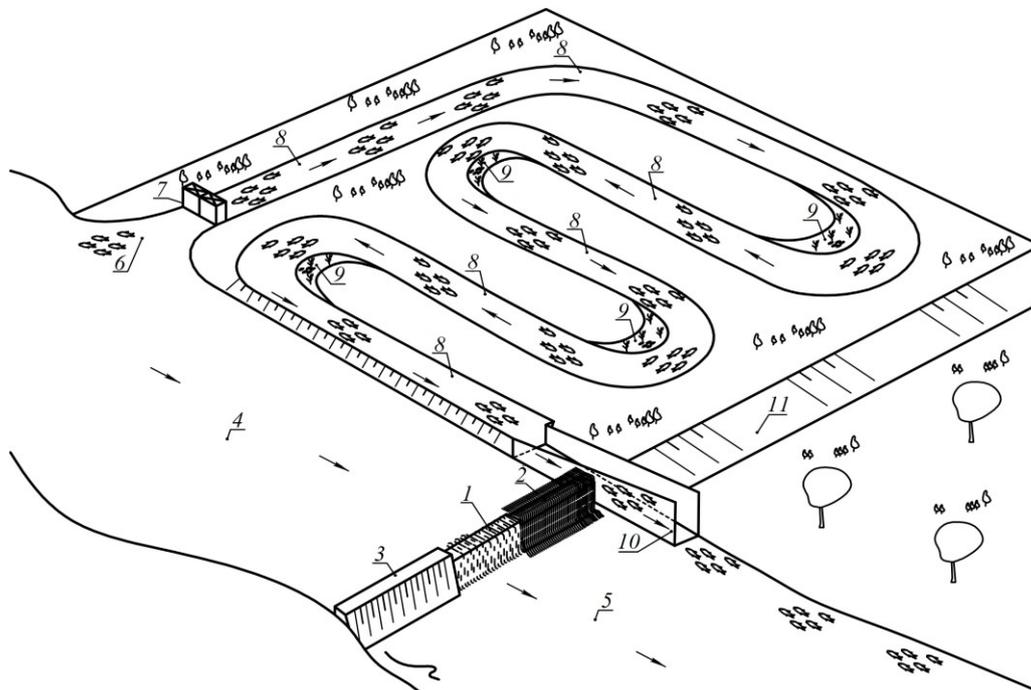
3 Отсутствие необходимости применения для обеспечения или стимулирования пространственных (плановых и высотных) перемещений рыб технических средств (шлюзовых камер или контейнеров, световых и звуковых раздражителей), как правило, оказывающих негативное (включая физическое) воздействие на производителей рыб.

4 Устройство трактов РНК на удалении от участков расположения других функциональных сооружений гидроузла (судоходных шлюзов, водовыпускных труб гидроэлектростанций и многих других) позволяет исключить влияние режимов их работы на условия и качество функционирования рыбопропускного канала.

5 Собственно, функционирование РНК осуществляется без использования энерго- и ресурсоемких процессов и технологических операций (за исключением подъема затворов регулятора при заполнении канала водой и их опускания по завершении его использования или в аварийной ситуации). В трактах РНК осуществляется самотечная подача воды и перемещение водных масс.

6 Эксплуатация РНК не предусматривает необходимости наличия специально подготовленного и постоянного штата работников (за исключением мероприятий по охране и проведению восстановительно-ремонтных или поставарийных работ).

7 Возможность рыбоводчески двухфункционального использования канала – для свободного (самостоятельного) прохода рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний и нереста подготовленных к репродукционному процессу производителей рыб (при соответствующем обустройстве тракта канала по гидрометрии и нерестовому субстрату).



- 1 – паводковая плотина; 2 – водосброс-регулятор; 3 – глухая плотина; 4 – верхний бьеф гидроузла; 5 – нижний бьеф гидроузла; 6 – выходной (для рыб) оголовок канала; 7 – головной регулятор канала; 8 – тракт канала; 9 – зоны отдыха и нереста рыб; 10 – входной (для рыб) оголовок РНК; 11 – дамба обвалования

Рисунок 1 – Схема речного гидроузла комплексного назначения с рыбоходно-нерестовым каналом

Figure 1 – Scheme of a river multipurpose waterworks with a fish-passage and spawning channel

Определенными недостатками РНК являются: необходимость наличия в пригидроузловых зонах пойм рек значительной по размерам территории для их расположения; затраты рыбами собственных мускульных усилий (энергозатраты) для самостоятельного перемещения и преодоления перепада уровней воды между верхним и нижним бьефами речного гидроузла; значительное влияние на гидравлические условия протекания водного потока по тракту канала колебаний уровней воды в верхнем и нижнем бьефах гидроузла; сложность организации учета проходящих по тракту РНК рыб и охраны объекта от браконьерства и вандализма; проблематичность их устройства при гидроузлах с широкими диапазонами внутрисезонных колебаний уровней воды в нижних и (особенно) в верхних бьефах; проблемность регулирования гидрометрических (расходно-скоростных и глубинных) параметров водного потока в тракте канала при подпоре или спаде уровней воды в нем под влиянием их колебания в реке; ограничения по условиям устройства и функционирования каналов.

Указанные достоинства РНК могут быть использованы в полной мере, а недостатки могут быть полностью или частично нейтрализованы при соответствующем компоновочно-конструктивном исполнении РНК [8, 9].

В соответствии с современными представлениями и материалами авторских исследований в составе РНК в качестве отдельных сооружений, объектов и элементов определенного функционального назначения рассматриваются их тракты, входной и выходной оголовки (для рыб), зоны отдыха (отстоя) и (или) нереста анадромных рыб.

Под входным оголовком РНК понимается сооружение, обеспечивающее плано-во-высотное сопряжение русла канала с руслом реки и соединение канального водного потока с речным потоком. Компоновочно-конструктивное решение входного оголовка должно соответствовать особенностям миграционного поведения рыб и учитывать механизмы ориентации и реакций производителей рыб на топографические, гидравлические, светозвуковые и (или) физико-химические условия подходного участка реки у створа входа рыб в канал. В пределах подходного участка предусматривается устройство рыбонаправляющих конструктивных и технических элементов (порогов, уступов и др.). В конструктивном отношении входной оголовок включает крепление русла реки в зоне устройства подходного к нему участка и лоток, сопрягающий тракт канала с руслом реки. При конструировании оголовка предусматривается: сопряжение лотка и крепление русла реки по схеме «дно в дно», закрепление берегового склона, формирование в русле реки привлекающего рыб «скоростного шлейфа», расположение входного сечения оголовка у верхней границы зоны поисков рыб прохода через «напорный фронт» гидроузла. По расходно-скоростным и гидрометрическим параметрам входного сечения канала производятся расчеты качества условий для привлечения к нему рыб, мигрирующих по речному руслу. По результатам определения параметра качества принимается решение о приемлемости размеров входного сечения или их изменении [5].

В тракте канала формируются условия для миграционного перемещения рыб и их нереста. При устройстве тракта решаются следующие задачи: установление величины расхода воды, средней скорости течения и глубин водного потока (исходя из рекомендаций рыбоводно-биологического обоснования проекта); определение формы и размеров поперечного сечения; установление уклона дна канала и его протяженности; принятие обоснованного решения об устройстве крепления дна и откосов канала и обустройстве акваториального пространства нерестовым субстратом (соответствующим определенным видам рыб (рео-, лито- и фитофилам)). Гидравлическими расчетами определяется уклон дна тракта и его протяженность, при которых обеспечивается средняя расчетная скорость течения и сопряжение уровней поверхностей воды между верхним и нижним бьефами гидроузла [10]. В тракте канала рекомендуется формировать

разноскоростные зоны течений как в плане, так и по глубине водного потока, что может быть реализовано устройством излучин (меандров) и применением разноглубинной формы его дна. При конструировании тракта канала предусматривается закрепление его русла (дна и откосов) слоем галечно-гравийно-каменной смеси с размерами фракций 20–40, 40–60 и 100–200 мм в пропорции 40:40:20 %. Наряду с закреплением русла, отсыпка выполняет функции нерестового субстрата для литофильных видов рыб.

Учитывая значительную протяженность рыбопропускных каналов, необходимо предусматривать устройство в их трактах зон отдыха для рыб с пониженными скоростями течения водного потока. Такие зоны представляют собой уширенные и (или) углубленные участки русла канала. Их количество и расположение по длине тракта определяется протяженностью участков, безостановочно преодолеваемых рыбами при миграционных перемещениях по реке [11]. Зоны отстоя рыб или специально устраиваемые отводы от тракта канала могут обустроиваться под нерестилища фитофилов.

Обязательным элементом канала является его выходной (для рыб) оголовок, включающий регулирующее сооружение и верховой участок канала, сопрягающий головной регулятор с приплотинной зоной водохранилища. Конструктивное решение головного регулятора и его размеры должны обеспечивать подачу в тракт канала расчетного расхода воды при перепаде уровней на нем, не превышающем 5,0 см, и при беспрыжковом сопряжении протекающего по нему водного потока. Верховой (выходной для рыб) участок тракта канала обеспечивает гидравлическое и топографическое сопряжение головного регулятора с акваторией водохранилища. Выходной участок канала выполняется заглубляющимся (а при необходимости и расширяющимся) в направлении водохранилища. При таком его конструктивном исполнении скорости течения в нем будут системно уменьшаться, а глубины будут увеличиваться, что создаст условия для адаптации рыб к новым (водохранилищным) условиям их перемещения (нереста).

Выводы

1 Определены назначение, виды и условия применения РНК, входящих в состав рыбопропускных сооружений низконапорных речных гидроузлов комплексного и, в частности, гидромелиоративного назначения.

2 Сформулирован перечень основных требований к компоновочно-конструктивным решениям и главным расходно-скоростным и гидрометрическим (геометрическим) параметрам РНК и обеспечивающих их функционирование гидротехнических сооружений и конструктивных элементов.

Список источников

1. О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов [Электронный ресурс]: Федер. закон от 20 дек. 2004 г. № 166-ФЗ. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».

2. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс]: Указ Президента Рос. Федерации от 19 апр. 2017 г. № 176. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».

3. Дубинина В. Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3, № 1. С. 67–97. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027.

4. Белоусов В. Н. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 14–19.

5. Шкура Вл. Н., Дроботов А. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы. Новочеркасск: НГМА, 2012. 203 с.

6. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов: учеб. пособие / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск, 2004. 150 с.

7. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 [Электронный ресурс]: СП 101.1330.2012: утв. Минрегионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534> (дата обращения: 07.07.2022).

8. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Опыт устройства и проектирования рыбоходно-нерестовых каналов на Нижне-Донском каскаде низконапорных гидроузлов // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 1. С. 50–69. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=135> (дата обращения: 07.07.2022). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69>.

9. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Рыбоходно-нерестовые каналы – средство улучшения условий естественного воспроизводства популяций анадромных рыб на зарегулированных реках // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. Т. 16, № 3(194). С. 212–225. DOI: 10.33920/se1-09-2203-05.

10. Боровской В. П., Гарбуз А. Ю., Баев О. А. Методика гидравлического расчета нерестового канала с разнофракционным гравийно-галечниковым покрытием русла // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 233–248. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=923> (дата обращения: 30.01.2022).

11. Шевченко А. В., Шкура В. Н. Конструктивные решения зон отдыха и нереста рыб, устраиваемых на излучинах рыбоходно-нерестовых каналов // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 1. С. 32–49. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=134> (дата обращения: 30.01.2022). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-32-49>.

References

1. *O rybolovstve i sokhranении vodnykh biologicheskikh resursov* [On fishery and conservation of aquatic biological resources]. Federal Law of 20 December, 2004, no. 166-FZ. (In Russian).

2. *O Strategii ekologicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda* [On Environmental Security Strategy of the Russian Federation for the period up to 2025]. Decree of the President of RF of 19 April, 2017, no. 176. (In Russian).

3. Dubinina V.G., 2019. *Trebovaniya rybnogo khozyaystva pri upravlenii rezhimami vodokhranilishch* [Requirements for fishery under water reservoir management]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], vol. 3, no. 1, pp. 67-97, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027. (In Russian).

4. Belousov V.N., 2016. *Posledniy rubezh estestvennogo vosproizvodstva v Azovo-Donskom rayone* [The last frontier of natural fish reproduction in the Azov-Don region]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], no. 4, pp. 14-19. (In Russian).

5. Shkura V.N., Drobotov A.N., 2012. *Rybohodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly* [Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels]. Novocheerkassk, NGMA, 203 p. (In Russian).

6. Chistyakov A.A., 2004. *Konstruksii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: ucheb. posobie* [Designs of Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels: textbook]. Novocheerkassk State Reclamation Academy, Novocheerkassk, 150 p. (In Russian).

7. *SP 101.1330.2012. Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybозashchitnye sooruzheniya* [Retaining walls, navigation locks, fish passing and fish protection facilities]. Updated edition of SNiP 2.06.07-87, available: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534> [accessed 07.07.2022]. (In Russian).

8. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. [Experience in the arrangement and design of

fish passage and spawning channels at the Nizhne-Donskoy cascade of low-head waterworks facilities]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 1, pp. 50-69, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=135> [accessed 07.07.2022], <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69>. (In Russian).

9. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. *Rybokhodno-nerestovye kanaly – sredstvo uluchsheniya usloviy estestvennogo vosproizvodstva populyatsiy anadromnykh ryb na zaregulirovannykh rekakh* [Fish passage and spawning channels as a means of improving the conditions of natural reproduction of anadromous fish populations on regulated rivers]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo* [Fish Breeding and Fisheries], vol. 16, no. 3(194), pp. 212-225, DOI: 10.33920/sel-09-2203-05. (In Russian).

10. Borovskoy V.P., Garbuz A.Yu., Baev O.A., 2018. [Method of hydraulic calculation of a spawning canal with different-fraction gravel-pebble bed cover]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 233-248, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=923> [accessed 30.01.2022]. (In Russian).

11. Shevchenko A.V., Shkura V.N., 2022. [Constructive solutions for recreation and spawning areas for fish, arranged on the meanders of fish passage and spawning channels]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 1, pp. 32-49, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=134> [accessed 01.10.2022], <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-32-49>. (In Russian).

Информация об авторах

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор;

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, аспирант.

Information about the authors

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor;

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.09.2022; одобрена после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 09.11.2022.

The article was submitted 09.09.2022; approved after reviewing 20.10.2022; accepted for publication 09.11.2022.

Научная статья

УДК 631.6.02; 631.51.01

**Почвозащитные приемы снижения эрозии
почвы от ливневых дождей**

**Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Георгий Трифонович Балакай²,
Владислав Юрьевич Ишханов³**

^{1,3}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

²Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹rekgma@magnet.ru

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

³rekgma@magnet.ru

Аннотация. Цель: исследовать влияние различных агротехнических приемов на снижение эрозии почвы от ливневых дождей в теплый период года. **Методы.** Закладка полевых опытов проводилась на обыкновенных черноземах в Аксайском районе Ростовской области на полях ОПХ «Рассвет». Исследования велись с 1973 по 2021 г. на склонах с основными сельскохозяйственными культурами и чистым паром, осуществлялся учет смыва слоя почвы методом шпилек и замера водоройн. **Результаты.** В среднем смыв почвы на чистом пару составил: на склонах крутизной 0,5–1,5° – 6,8 т/га, 3,5–4° – 40,8 т/га, более 5° – 68,4 т/га. Максимальные величины смыва почвы на чистых парах в отдельные годы превышали 100 т/га при среднем значении по годам от 60 до 90 т/га. С увеличением проективного покрытия поверхности почвы почвозащитная роль растений увеличивается. Выявлена высокая почвозащитная эффективность снижения эрозионных процессов в системе сплошного и контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов. Величина смыва почвы при интенсивности ливней 0,9–1,5 мм/мин на фоне чередования полос пара с полосами озимой пшеницы согласно экспериментальным данным, полученным за период 1974–2019 гг., на склонах до 1° уменьшилась по сравнению со сплошным размещением пара в 1,9 раза, на склонах 2,5–2,6° – в 3,7 раза и на склонах более 4–5° – почти в 4 раза. Формирование нанорельефа на поверхности пара позволяет задерживать до 20 мм осадков и снижать эрозию почвы до допустимых пределов 1–2 т/га. **Выводы:** эффективный способ предотвращения эрозионных процессов – контурно-полосное размещение культур на склонах и создание мелкого, но частого нанорельефа, обеспечивающего снижение смыва почвы в пределах 2–4 т/га, что в несколько раз меньше, чем на пару.

Ключевые слова: эрозия, смыв почвы, почвозащитные агроприемы, контурно-полосное размещение культур

Original article

Soil protection practices to reduce soil erosion from heavy rains

Evgeny V. Poluektov¹, Georgy T. Balakay², Vladislav Yu. Ishkhanov³

^{1,3}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

²Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹rekgma@magnet.ru

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

³reknigma@magnet.ru

Abstract. Purpose: to investigate the effect of various agricultural practices on reducing soil erosion from heavy rains in the warm season. **Methods.** The layout of field experiments was carried out on ordinary chernozems in Aksai district Rostov region on the Rassvet experimental production farmfields. The studies were carried out from 1973 to 2021 on the slopes with the main agricultural crops and bare fallow, soil layer loss was carried out using the hairpin method and the ravine measurement. **Results.** On average, soil loss on a bare fallow was 6.8 t/ha on slopes with a steepness of 0.5–1.5°, 40.8 t/ha with steepness 3.5–4°, 68.4 t/ha on more than 5° slopes. The maximum values of soil loss on bare fallows in some years exceeded 100 t/ha, with an average value of 60 to 90 t/ha over the years. With an increase in the projective cover of the soil surface, the soil-protective role of plants increases. The high soil-protective efficiency of reducing erosion processes in the system of continuous and contour-strip placement of agricultural crops and agro backgrounds has been revealed. According to the experimental data obtained for the period 1974–2019, the value of soil loss at a rainfall intensity of 0.9–1.5 mm/min against the background of alternating fallow stripes with winter wheat stripes, decreased compared to with continuous fallow by 1.9 times on slopes up to 1°, by 3.7 times on slopes of 2.5–2.6°, and by almost 4 times on slopes of more than 4–5°. The formation of a nanorelief on the fallow surface makes it possible to retain up to 20 mm of precipitation and reduce soil erosion to acceptable limits of 1–2 t/ha. **Conclusions:** an effective way to prevent erosion processes is the contour-strip placement of crops on slopes and the creation of a shallow but frequent nanorelief that reduces soil loss within 2–4 t/ha, which is several times less than for a fallow.

Keywords: erosion, soil loss, soil-protective agricultural practices, contour-strip crops placement

Введение. На сегодняшний день эрозия почвы – основной фактор снижения плодородия и выбытия пашни из оборота, поэтому разработка мероприятий по борьбе с эрозией является приоритетной во всем мире. Эрозия почвы достигает огромных размеров. Например, в верхнем течении р. Бо Центрального Вьетнама средняя степень эрозии с 2000 по 2010 г. достигла 92,33 т/га, а максимальные потери на отдельных участках составили 153,48 т/га [1]. По изменению климатических показателей ученые прогнозируют увеличение темпов прироста эрозии почвы, и уже к 2070 г., по их оценкам, темпы могут повыситься на 5 % [2, 3]. В то же время в Европейском союзе ужесточение ответственности за допущение эрозии почвы и отказ от внедрения почвозащитных мероприятий позволило за 2011–2016 гг. снизить эрозию почвы на 0,4 %, но все же еще 25 % земель имеют эрозию выше допустимого уровня 2 т/га в год [4].

В России процессы эрозии также имеют широкое распространение [5, 6], на них влияют такие факторы, как: способы обработки почвы [7, 8], уклоны на агроландшафтах [6, 9], водопроницаемость почвы [10, 11], изменение климата [12, 13], мелиоративные мероприятия [9, 14] и др. Как показывают исследования Е. В. Полуэктова, за последние годы сократилась эрозия от талых вод почти вдвое в связи с тем, что почва в отдельные годы не промерзает из-за потепления климата, водопроницаемость ее остается высокой в период таяния и почти вся талая вода просачивается и аккумулируется в почве [13]. В то же время процессы эрозии от ливневых вод остались без изменения и даже возросли в связи с увеличением количества осадков в виде дождей в теплый период года [15]. В связи с этим разработка агротехнических приемов, способствующих снижению эрозии почвы, является актуальной и востребованной практикой.

Методы. Закладка полевых опытов проводилась на обыкновенных черноземах

в Аксайском районе Ростовской области на полях ОПХ «Рассвет» на парах и при контурно-полосном размещении пара и сельскохозяйственных культур. Ширина полосы составляла от 50 до 120 м в зависимости от уклона, контура уклонов на полях севооборота и состава культур и пара. Исследования проводились с 1973 по 2021 г. На склонах с основными сельскохозяйственными культурами и чистым паром осуществлялся учет смыва слоя почвы методом шпилек и замера водорослей, визуальные и инструментальные наблюдения за величиной проективного покрытия поверхности почвы растениями и проявлением эрозии на культурах при полосном их размещении на границе полосы и при удалении от границы полосы. Смыв почвы учитывался по объему водорослей [16–19]. Физические и водно-физические свойства почвы (плотность сложения почвы, количество водопрочных агрегатов) определялись общепринятыми в почвоведении и земледелии методами, описанными А. Ф. Вадюниной и С. В. Астаповым [20, 21]. Полученные данные обрабатывались с использованием компьютерных программ.

Результаты исследований. Как установлено нашими исследованиями, на юге европейской части России эрозия почвы в теплый период года в наибольшей степени проявляется на чистом пару и под пропашными культурами, т. е. там, где проективное покрытие поверхности почвы минимально или вообще отсутствует.

В среднем за период наблюдений с 1973 по 2021 г. смыв почвы на чистом пару составил: на склонах крутизной $0,5\text{--}1,5^\circ$ – 6,8 т/га, $3,5\text{--}4^\circ$ – 40,8 т/га, более 5° – 68,4 т/га. Максимальные величины смыва почвы на чистых парах в отдельные годы превышали 100 т/га при среднем значении от 60 до 90 т/га.

С увеличением проективного покрытия поверхности почвы почвозащитная роль растений увеличивается. Выявлена высокая почвозащитная эффективность снижения эрозионных процессов в системе сплошного и контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов. При контурно-полосном размещении сельскохозяйственных культур и агрофонов культуры с высокой степенью проективного покрытия почвы растениями (многолетние травы, озимые культуры, зернобобовые) чередуются с полосами чистого пара или пропашными культурами (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид полосного размещения сельскохозяйственных культур на склонах (фото Г. Т. Балакая, Е. В. Полуэктова)

Figure 1 – General view of the strip placement of agricultural crops on the slopes (photo by G. T. Balakay, E. V. Poluektov)

Сокращение эрозионных процессов в данном случае осуществляется благодаря разнородности агрофизических свойств почвы в полосах под различными культурами и

агрофонами, уменьшению ударного воздействия капель дождя на поверхность почвы и скорости водных потоков в полосах, занятых растительным покровом, и целому ряду других показателей (Е. В. Полуэктов, 2020) [15]. Остановимся на некоторых из них более подробно.

Согласно экспериментальным данным, полученным за период 1974–2019 гг., величина смыва почвы при интенсивности ливней 0,9–1,5 мм/мин и чередовании полос пара с полосами озимой пшеницы на склонах до 1° уменьшилась по сравнению со сплошным размещением пара в 1,9 раза, на склонах 2,5–2,6° – в 3,7 раза, на склонах более 4–5° – почти в 4 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Смыв почвы на чистом пару во время ливневых дождей

Table 1 – Soil loss at bare fallow during heavy rains

Крутизна склона, градус	Расстояние от водораздела, м	Смыв почвы, т/га	
		Контурно-полосное размещение	Пар сплошного размещения
0,5–0,8	150	2,4	4,7
2,5–2,6	250	4,2	15,7
4,0–4,2	400	10,7	39,9
5,0–5,5	500	16,1	62,4

Образование водороин на полосах чистого пара при крутизне склона 4,0–4,2° и интенсивности ливней до 1,5 мм/мин начиналось с нижней трети ширины полосы и заканчивалось на границе полосы озимой пшеницы. В этом случае длина отдельных водороин не превышала 10–15 м, а при такой длине ширина и глубина их обычно не достигают больших размеров. Максимальная глубина промоин в полосах чистого пара была в 3,5 раза, а ширина в 8 раз меньше по сравнению с чистым паром сплошного размещения.

Такое образование водороин характерно для спокойных, выровненных склонов. Согласно законам гидродинамики, вода стремится обеспечить себе наименьший смоченный периметр, т. е. течет концентрированным потоком по различного рода микропонижениям. На пашне такими каналами стока ливневых вод являются потяжины, борозды после вспашки, ложбины, лощины. В них происходит концентрация потоков воды, и тогда размывы на пару в летний период так же значительны. При приближении потока с взвешенными в нем частицами почвы к валу высотой до 12–15 см и шириной 1,5–3,0 м, образуемому на границе полосы, а он образуется через 2 года полосного размещения в результате чередования вспашки в свал и развал, скорость воды резко падает за счет подпора. Так, если максимальная скорость потока воды наблюдается ниже середины полосы (0,37–0,49 м/с), то на расстоянии 3–5 м от вала уменьшается до 0,12 м/с и транспортирующая скорость и способность смыва почвы потоком резко снижается. Наиболее крупные почвенные агрегаты, влекомые водой, оседают, образуя заслон следующим, более мелким частицам почвы.

Постепенно на границе полос начинает образовываться конус отложений, который по мере своего роста распластывает поток, заставляя его растекаться в разные стороны. Мощность наносов по ложбинам и потяжинам у границ полос достигает 20–30 см и постепенно уменьшается вглубь полосы. На расстоянии 20–25 м от границы полосы высота наносов не превышает 2–5 см. В немалой степени этому также способствует наличие на смежной с чистым паром полосе сельскохозяйственных культур с высокой степенью проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом (таблица 2).

Таблица 2 – Мощность наносов почвы по ложбинам при полосном размещении сельскохозяйственных культур и чистого пара

В см

Table 2 – The power of soil sediments in depressions with agricultural crop strip placement and bare fallow

In cm

Расстояние от границы полосы, м	Сочетание культур и чистого пара в полосах		
	Чистый пар – многолетние травы (люцерна)	Чистый пар – озимая пшеница	Чистый пар – яровой ячмень
На границе полос	25–29	23–26	18–23
3	24	23	20
8	18	16	15
12	9	9	8
17	5	5	4
22	3	3	2
30	1	1	1

В большей степени задержка наносов отмечается в полосах с растительным покровом многолетних трав (от 25–29 см на границе полос до 1 см на расстоянии 30 м от границы полос). Озимая пшеница и яровой ячмень задерживают на границе полос меньшее количество наносов, слой наносов составляет соответственно 23–26 и 18–23 см против 25–29 см у люцерны.

Вследствие чередования по годам в каждой полосе защищающих и защищаемых культур кольматация происходит на всех полосах. В результате этого ложбины постепенно сглаживаются, а рельеф приобретает более спокойный характер. Как мы видим из представленных данных, даже при контурно-полосном размещении чистого пара смыв может достигать высоких значений, а потому меры борьбы со смывом почвы здесь приобретают наибольшее значение.

В засушливых условиях юга европейской территории России к чистому пару, и особенно в летний период, предъявляются высокие требования. Главное из них – сбережение почвенной влаги, накопленной за холодный период года, и в летний период, позволяющей получить дружные всходы озимой пшеницы. Теоретической предпосылкой, на которой основан уход за чистым паром, является теория дифференциальной влажности почвы, разработанная Ф. Н. Колясевым (1951).

Для того чтобы снизить потери почвенной влаги от диффузно-конвекционного испарения в сухое и жаркое время года, чистый пар прикатывают после очередной культивации. Однако выровненная и уплотненная поверхность чистого пара, как это рекомендуется для равнин, не отвечает условиям и требованиям склонового земледелия, так как усиливает поверхностный сток ливневых вод.

Создание водозадерживающих микронеровностей в виде борозд, лунок или микролиманов глубиной до 15–20 см способствует задержанию поверхностного стока, но вследствие увеличения площади испарения не обеспечивает сохранение влаги почвы. Для того чтобы обеспечить одновременно благоприятные условия для задержания вод поверхностного стока и повышения урожая озимой пшеницы, в летний период ухода за чистым паром необходимо применять более сложную технологию обработки почвы.

С учетом опыта предыдущих исследований на юге России и в других регионах страны М. И. Заславским (1970), Е. В. Грызловым (1975) и Е. В. Полуэктовым (1990, 2000, 2005) предложено создавать противозерозионный микрорельеф на чистом пару мелким по глубине и только в наиболее эрозионно опасный период лета с мая по июль.

При проведении искусственного дождевания установлено, что мелкий, но четко выраженный микрорельеф по противоэрозионной эффективности не уступал лункам и прерывистым бороздам. Поделку такого микрорельефа при уходе за чистым паром намечалось осуществлять в сочетании с одной из технологических уходных операций – прикатыванием почвы.

В полевых опытах на среднеэродированных обыкновенных черноземах были испытаны противоэрозионные орудия, выполняющие необходимые агротехнические операции. В их число входили противоэрозионные катки ПЭК-1,6, ПЭК-3 и почвообрабатывающая часть сеялки СЗС-2,1 с вырезами на катках.

Противоэрозионный каток ПЭК-3 создан ВИСХОМ и ДЗНИИСХ на базе игольчатой бороны БИГ-3. Рабочими органами его являются тарельчатые диски диаметром 500 мм и шириной 50 мм. Масса одного катка 1200 кг, что обеспечивает удельное давление на почву, равное примерно $0,3 \text{ кг/см}^2$. На дисках второго ряда сделаны вырезы для образования перемычек в бороздах. Длина отдельных бороздок 140 см, ширина 9 см. Борозды чередуются с гребнями, имеющими сечение, обратное бороздам. Количество прерывистых бороздок на 1 га пашни после прикатывания катком ПЭК-3 составляет 25 тыс. шт. Водоемкость каждой из них – 8,0 л, а на 1 га – 200 м^3 .

Противоэрозионный каток ПЭК-1,6 разработан сотрудниками ДЗНИИСХ. Он создан на базе водоналивного катка КВГ-1,4, к гладкой рабочей поверхности которого крепятся шесть расположенных в шахматном порядке штампов высотой 10 см по окружности катка, а в середине оставлен проем. Проемы имеются также между штампами. При движении катка по полю в местах проемов почва остается уплотненной, образуется сеть пересекающихся земляных валиков прямоугольной формы высотой 5–7 см. Количество микроемкостей на 1 га пашни после прохода катка составляет 13,2 тыс. шт. Водоемкость одной микроемкости равна 14,5 л, а на 1 га 198 м^3 .

Использование в качестве орудия сеялки СЗС-2,1 по уходу за чистым паром, а точнее ее почвообрабатывающей части с вырезами на прикатывающих каточках, не случайно. Нас устраивал принцип работы ее почвообрабатывающей части, совмещающей за один проход одновременно три операции: культивацию, прикатывание и создание противоэрозионного микрорельефа. Последний получается с помощью двух вырезанных секторов на каточках, которые представляют собой равносторонние треугольники со стороной 200 мм. При обработке пара ящик для семян с сеялки снимается.

После культивации пара почвообрабатывающей частью сеялки СЗС-2,1 на поверхности почвы образуются бороздки глубиной 7–9 см, перегороженные через 87 см перемычками. Количество противоэрозионных емкостей на 1 га пашни составляет 50 тыс. шт., водоемкость каждой из них 4–5 л.

Как показали результаты исследований в полевых и производственных опытах с 1973 по 1995 г., при интенсивности дождей от 0,8 до 1,5 мм/мин смыв почвы на участках чистого пара (уклон $1,5\text{--}3,5^\circ$) с прикатыванием кольчато-шпоровым катком (ЗККШ-6, контроль) составил в среднем 32,9 т/га. На делянках, прикатанных противоэрозионными катками (ПЭК-1,6 и ПЭК-3), он составил соответственно 6,7 и 5,0 т/га. Совсем незначительный смыв почвы (1,9 т/га) был на участках чистого пара, обработанных почвообрабатывающей частью сеялки СЗС-2,1 с вырезами на каточках.

Применение данных орудий позволило не только резко уменьшить процессы эрозии, но и сохранить в пахотном горизонте к посеву озимой пшеницы большие запасы доступной для растений влаги (на 20–35 мм) по отношению к контролю, что обеспечило повышение урожайности на 3,4–4,1 ц/га.

В посевах пропашных культур для борьбы с ливневой эрозией в первой половине лета, когда величина проективного покрытия поверхности пашни не достигает

40 %, применяют прерывистое бороздование, окучивание междурядий. Исследованиями, проведенными в Ростовской области Е. В. Грызловым в 1975 г. и Е. В. Полуэктовым в 2015–2017 гг. [15], установлено, что прерывистое бороздование междурядий на посевах кукурузы с использованием приспособления к культиватору ППБ-0,6 позволяет дополнительно задерживать до 13–15 мм стока ливневых вод и снизить смыв почвы до 1–2 т/га при интенсивности дождя 0,8–1,5 мм/мин.

В наших исследованиях окучивание междурядий подсолнечника культиваторами с окучниками (РНТ-52, РНТ-53) при контурно-полосном его размещении с люцерной уменьшило сток ливневых вод до 3,1 мм, а смыв почвы – до 0,9 т/га. В варианте со сплошным размещением подсолнечника сток и смыв составили соответственно 14,8 мм и 43,9 т/га.

Выводы. Почвозащитная роль растений положена в основу ряда противоэрозионных агроприемов, в т. ч. контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов. Сокращение эрозионных процессов осуществляется за счет разнообразности агрофизических свойств почвы, прежде всего водопроницаемости, структурного состава, а также формирования углублений на поверхности почвы в посевах сельхозкультур. Смыв почвы на чистом пару при контурно-полосном размещении в 2–4 раза меньше по сравнению со сплошным размещением культур и чистого пара.

На чистых парах и пропашных культурах эффективным способом предотвращения эрозионных процессов является создание мелкого, но частого нанорельефа, обеспечивающего снижение смыва почвы в пределах 2–4 т/га, что в несколько раз меньше, чем в контрольных вариантах (пар).

Список источников

1. Phuong T. T., Shrestha R. P., Chuong H. V. Simulation of soil erosion risk in the upstream area of Bo river watershed // *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia*. 2017. Vol. 3. P. 87–99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805452-9.00006-0>.

2. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070) / P. Borrelli, D. A. Robinson, P. Panagos, E. Lugato, J. E. Yang, C. Alewell, D. Wuepper, L. Montanarella, C. Ballabio // *PNAS*. 2020, Sept. 8. Vol. 117, № 36. P. 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.

3. Potential effects of climate change on soil properties: A review / R. Karmakar, I. Das, D. Dutta, A. Rakshit // *Science International*. 2016. Vol. 4. P. 51–73. DOI: 10.17311/sciintl.2016.51.73.

4. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European Union / P. Panagos, C. Ballabio, J. Poesen, E. Lugato, S. Scarpa, L. Montanarella, P. Borrelli // *Remote Sens*. 2020. 12(9). 1365. <https://doi.org/10.3390/rs12091365>.

5. География динамики земледельческой эрозии почв на европейской территории России / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов, Н. Г. Добровольская // *Почвоведение*. 2017. № 11. С. 1390–1400.

6. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.

7. Сухомлинова Н. Б., Чешев А. С. Эколого-мелиоративные мероприятия в районах с развитой эрозией почв // *Экономика и экология территориальных образований*. 2019. Т. 3, № 1. С. 35–45. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-35-45>.

8. Elhakim A. F. Estimation of soil permeability // *Alexandria Engineering Journal*. 2016, Aug. Vol. 55, iss. 3. P. 2631–2638. DOI: 0.1016/j.aej.2016.07.034.

9. Полуэктов Е. В. Противозэрозионные мероприятия мелиорации земель. Новочеркасск: Лик, 2011. 251 с.

10. Mhazo N., Chivenge P., Chaplot V. Tillage impact on soil erosion by water: Discrepancies due to climate and soil characteristics // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2016. Vol. 230. P. 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.033>.

11. Современные тенденции изменения водной эрозии почвы на склоновых агроландшафтах Саратовского Правобережья / Н. М. Жолинский, И. Н. Кораблёва, В. А. Тарбаев, Р. Р. Гафуров, А. А. Аркадьева, А. П. Несват // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. № 4(78). С. 34–37.

12. Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage / S. Managalassery, S. Sjögersten, D. L. Sparkes, S. J. Mooney // *The Journal of Agricultural Science*. 2015, Sept. Vol. 153, iss. 7. P. 1151–1173. <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>.

13. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Влияние изменения климата на юге России на сток талых вод // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2020. № 4(40). С. 88–102. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1161-field12.pdf (дата обращения: 01.10.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-48-102.

14. Барабанов А. Т., Кулик А. В. Научное обоснование инновационного проекта агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства балочных водосборов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2017. № 2(46). С. 67–73.

15. Полуэктов Е. В. Эрозия почв и плодородие: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.

16. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л., 1976. 256 с.

17. Дьяков В. Н. Совершенствование метода учета смыва почв по водородионам // *Почвоведение*. 1984. № 3. С. 146–148.

18. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 88 с.

19. Соболев С. С. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия. М.: Сельхозиздат, 1961. 231 с.

20. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.

21. Астапов С. В. Мелиоративное почвоведение: практикум. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сельхозгиз, 1958. 367 с.

References

1. Phuong T.T., Shrestha R.P., Chuong H.V., 2017. Simulation of soil erosion risk in the up-stream area of Bo river watershed. *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia*, vol. 3, pp. 87-99, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805452-9.00006-0>.

2. Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L., Ballabio C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *PNAS*, Sept. 8, vol. 117, no. 36, pp. 21994-22001, <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.

3. Karmakar R., Das I., Dutta D., Rakshit A., 2016. Potential effects of climate change on soil properties: A review. *Science International*, vol. 4, pp. 51-73, DOI: 10.17311/sciintl.2016.51.73.

4. Panagos P., Ballabio C., Poesen J., Lugato E., Scarpa S., Montanarella L., Borrelli P., 2020. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European Union. *Remote Sens.*, 12(9), 1365, <https://doi.org/10.3390/rs12091365>.

5. Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G., 2017. *Geografiya dinamiki zemledel'cheskoy erozii pochv na evropeyskoy territorii Rossii* [Geography of agricultural soil erosion dynamics in European Russia]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 11, pp. 1390-1400. (In Russian).

6. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Poluektov E.V., Balakay N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyaemogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya* [The Conditions for Surface Runoff Formation. The Forecast of the Damage. Compensatory Reclamation Measures]. Novochoerkassk, RosNIIPM, 450 p. (In Russian).

7. Sukhomlinova N.B., Cheshev A.S., 2019. *Ekologo-meliorativnye meropriyatiya v rayonakh s razvitoj eroziy pochv* [Ecological-reclamation activities in the areas with soil erosion]. *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy* [Economy and Ecology of Territorial Formations], vol. 3, no. 1, pp. 35-45, <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-35-45>. (In Russian).

8. Elhakim A.F., 2016. Estimation of soil permeability. *Alexandria Engineering Journal*, Aug., vol. 55, iss. 3, pp. 2631-2638, DOI: 0.1016/j.aej.2016.07.034.

9. Poluektov E.V., 2011. *Protivoerozionnye meropriyatiya melioratsii zemel'* [Anti-erosion Measures of Land Reclamation]. Novochoerkassk, Lik Publ., 251 p. (In Russian).

10. Mhazo N., Chivenge P., Chaplot V., 2016. Tillage impact on soil erosion by water: Discrepancies due to climate and soil characteristics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 230, pp. 231-241, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.033>.

11. Zholinsky N.M., Korableva I.N., Tarbaev V.A., Gafurov R.R., Arkad'eva A.A., Nesvat A.P., 2019. *Sovremennye tendentsii izmeneniya vodnoy erozii pochvy na sklonovykh agrolandshaftakh Saratovskogo Pravoberezh'ya* [Current trends of changes in soil water erosion on slope agricultural landscapes of Saratov Pravoberezh'ye]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Orenburg State Agrarian University], no. 4(78), pp. 34-37. (In Russian).

12. Mangalassery S., Sjögersten S., Sparkes D.L., Mooney S.J., 2015. Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage. *The Journal of Agricultural Science*, Sept., vol. 153, iss. 7, pp. 1151-1173, <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>.

13. Poluektov E.V., Balakay G.T., 2020. [Impact of climate change on the melt water runoff in the south of Russia]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(40), pp. 88-102, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1161-field12.pdf [accessed 01.10.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-48-102. (In Russian).

14. Barabanov A.T., Kulik A.V., 2017. *Nauchnoe obosnovanie innovatsionnogo proekta agrolesomeliorativnogo adaptivno-landshaftnogo obustroystva balochnykh vodosborov* [Scientific substantiation of the innovative project of agroforestry reclamation-adaptive landscape arrangement of gully watersheds]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [News of Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Education], no. 2(46), pp. 67-73. (In Russian).

15. Poluektov E.V., 2020. *Eroziya pochv i plodorodie: monografiya* [Soil Erosion and Fertility: monograph]. Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute of Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Lik Publ., 229 p. (In Russian).

16. Surmach G.P., 1976. *Vodnaya eroziya i bor'ba s ney* [Water Erosion and Its Control]. Leningrad, 256 p. (In Russian).

17. D'yakov V.N., 1984. *Sovershenstvovanie metoda ucheta smyva pochv po vodoroimam* [Improving the method of registering soil loss by water bodies]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 3, pp. 146-148. (In Russian).

18. *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochvy pri*

izuchenii vodnoy erozii [Guidelines for Registering Surface Runoff and Soil Loss in the Study of Water Erosion]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 88 p. (In Russian).

19. Sobolev S.S., 1961. *Zashchita pochv ot erozii i povyshenie ikh plodorodiya* [Protecting Soils from Erosion and Increasing Their Fertility]. Moscow, Selkhozizdat Publ., 231 p. (In Russian).

20. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv: uchebnoe posobie* [Methods for Studying Physical Properties of Soils: textbook]. 3rd ed., rev., Moscow, Agropromizdat Publ., 415 p. (In Russian).

21. Astapov S.V., 1958. *Meliorativnoe pochvovedenie: praktikum* [Reclamation Soil Science: workshop]. 2nd ed., rev., Moscow, Selkhozgiz Publ., 367 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – заведующий кафедрой, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

В. Ю. Ишханов – студент.

Information about the authors

E. V. Poluektov – Head of the Department, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

V. Yu. Ishkhanov – Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 09.11.2022; принята к публикации 15.11.2022.

The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 09.11.2022; accepted for publication 15.11.2022.

Научная статья

УДК 626.823.91

Обоснование выбора конструктивно-технологических решений при реконструкции оросительных каналов

Александр Юрьевич Гарбуз

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, a.y.garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Аннотация. **Цель:** обоснование наиболее рациональных конструктивно-технологических решений противofильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов, применяемых при реконструкции оросительных каналов мелиоративных систем. **Материалы и методы.** Материалами к исследованию послужили труды российских ученых в области ремонта и реконструкции сооружений на мелиоративных системах различного назначения. В процессе проведения исследований использовались методы критического анализа. **Результаты.** Выявлены основные критерии выбора противofильтрационной защиты при реконструкции оросительных каналов, а также предложены технологические схемы производства работ по восстановлению деформационных швов с целью уменьшения потерь воды. Предложен алгоритм контроля и проведения ремонтно-восстановительных работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем, который включает в себя определение объема выполняемых работ, а также вида необходимой реконструкции. **Выводы.** Рассмотрены рациональные конструктивно-технологические решения противofильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов (технических, технологических и эксплуатационных). Показаны технологические схемы производства работ по восстановлению деформационных швов с целью исключения непроизводительных потерь. Наряду с этим представлен алгоритм контроля и проведения ремонтно-восстановительных работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем.

Ключевые слова: реконструкция, бетонная облицовка, деформационный шов, противofильтрационная защита, водонепроницаемость, канал, ремонт

Original article

Substantiation for the choice of structural and technological solutions for irrigation canals reconstruction

Aleksandr Yu. Garbuz

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, a.y.garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Abstract. **Purpose:** substantiation of the most rational constructive and technological solutions for impervious devices of concrete lining and expansion joints used in the reconstruction of irrigation canals in reclamation networks. **Materials and methods.** The materials for the study were the works of Russian scientists in the field of repair and reconstruction of reclamation systems structures for various purposes. In the process of conducting research, the methods of critical analysis were used. **Results.** The main criteria for the selection of anti-seepage protection during the reconstruction of irrigation canals are identified, and technological schemes for the production work on the restoration of expansion joints in order to reduce water losses are proposed. An algorithm for monitoring and carrying out repair and restoration work during the reconstruction of canals (objects) of irrigation systems which includes determining the scope of work performed, as well as the type of reconstruction required, is

proposed. **Conclusions.** Rational constructive and technological solutions for impervious devices of concrete linings and expansion joints (technical, technological and operational) are considered. Technological schemes for the production of works on restoration of expansion joints are shown in order to exclude non-production losses. Along with this, an algorithm for monitoring and carrying out repair and restoration work during the reconstruction of canals (objects) of irrigation systems is presented.

Keywords: reconstruction, concrete lining, expansion joint, seepage protection, water resistance, canal, repair

Введение. Выбор противофильтрационной защиты при проведении реконструкции каналов оросительных систем осуществляют путем определения основных технических параметров и оценки технического состояния сооружения (канала). Оценку выполняют методом линейного замера и визуального осмотра технического состояния сооружения (канала), на котором планируется проведение реконструкции, систематизируя при обследовании наиболее выраженные области по его поперечному сечению, выделяя участки и пикетаж.

Посредством анализа выполненного обследования участков сооружения структурируются данные повреждений (линейные размеры) и их изображения, после чего принимается решение о проведении текущего (частичного) или капитального ремонта [1, 2].

Для определения основных линейных и объемных технических характеристик параметров каналов используют лазерные дальнометры, которые позволяют выполнять измерения наиболее точно и фиксировать их в памяти устройства. Наряду с этим для получения данных о расходе сооружения используют зависимость $Q = f(V, h)$ как при работе каналов (под водой), так и при их опорожнении в процессе эксплуатации. Впервые определение эффективности работы канала и его несущей и пропускной способности следует выполнять при полной его нагрузке (заполнении водой), далее при полном либо частичном опорожнении сооружения.

Перед проведением реконструкции после полного опорожнения канала от воды осуществляется отбор проб грунта, залегающих в основании и по сечению канала, для уточнения его физико-механических свойств. После оценки фактического технического состояния и изучения физико-механических свойств грунтов принимается решение о частичной либо полной реконструкции канала оросительной системы. При полной замене бетонной облицовки разрабатывается проект с учетом данных, полученных по результатам натурных обследований сооружения.

В этой связи целью настоящих исследований являлось обоснование наиболее рациональных конструктивно-технологических решений противофильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов, применяемых при реконструкции оросительных каналов мелиоративных систем.

Материалы и методы. Материалами к исследованию послужили труды российских ученых в области ремонта и реконструкции сооружений на мелиоративных системах различного назначения. В процессе проведения исследований использовались методы анализа и синтеза, дедукции и индукции.

Результаты и обсуждение. Основным и оптимальным критерием выбора и обеспечения противофильтрационной защиты русел открытых оросительных каналов является надежность, гарантирующая работу сооружения при его постоянной эксплуатации [2–6]. В целом под термином «эффективность» применительно к оросительным системам понимается оценка работы сооружения по коэффициенту полезного действия (КПД), который в первую очередь зависит от выбранной конструкции, технического состояния канала, грунтовых и гидрогеологических условий основания и качества выполняемых ремонтно-восстановительных работ:

$$\eta_{\text{кан}} = f(k'_{\text{обл}}, Q, q_{\text{ф}}, P_{\text{э}}, k_{\text{ф.гр}}, h_{\text{ТВ}}, W_{\text{исп}}, L_{\text{к}}),$$

где $\eta_{\text{кан}}$ – КПД канала;

$k'_{\text{обл}}$ – осредненный коэффициент фильтрации, зависящий от конструкции облицовки, м/сут;

Q – общий расход канала, м³/с;

$q_{\text{ф}}$ – фильтрационные потери из канала, м³/сут;

$P_{\text{э}}$ – показатель технического состояния:

$$P_{\text{э}} = \frac{\eta}{\eta_{\text{тр}}},$$

где η – фактический КПД;

$\eta_{\text{тр}}$ – требуемый КПД;

$k_{\text{ф.гр}}$ – коэффициент фильтрации грунта основания, м/с;

$h_{\text{ТВ}}$ – глубина залегания уровня грунтовых вод, м;

$W_{\text{исп}}$ – потери воды в канале на испарение, мм;

$L_{\text{к}}$ – общая протяженность канала, м.

Отмечено, что эксплуатируемые конструкции противофильтрационных облицовок оросительных каналов имеют различную эксплуатационную надежность и эффективность, это обусловлено множеством факторов. Среди них следует выделить те, которые влияют на надежность всей конструкции, а именно:

- конструктивные;
- технологические;
- эксплуатационные.

Для наиболее рационального применения противофильтрационных покрытий необходим оптимальный уровень надежности, который обеспечивается минимальными затратами с учетом гидрологических условий трассы оросительного канала, а также мелиоративных и экологических требований [5].

Под надежностью противофильтрационных облицовок понимается способность за время эксплуатации сооружения в течение прогнозируемого срока службы сохранять свои качества на требуемом уровне с допустимой степенью повреждаемости отдельных их элементов [3, 4].

На основании анализа причин отказов работы противофильтрационных облицовок надежность их работы следует оценивать по следующим основным показателям:

- а) техническому – осредненному коэффициенту фильтрации облицовки $k'_{\text{обл}}$;
- б) технологическому – поврежденности противофильтрационного элемента и нарушению герметичности деформационных швов в период строительства и за время эксплуатации P ;
- в) эксплуатационному – долговечности (сроку службы) противофильтрационного покрытия τ .

Соблюдение приведенных допускаемых значений осредненных коэффициентов фильтрации облицовок сможет обеспечить высокую их противофильтрационную эффективность и позволит повысить КПД оросительных каналов до 0,97. Применение противофильтрационной защиты на оросительных каналах позволяет предотвращать фильтрационные потери, подтопление и засоление приканальных территорий [7–9].

Под отказом противофильтрационных облицовок понимается случайное событие в виде повреждений и дефектов противофильтрационного элемента, которые при-

водят к существенным потерям воды на фильтрацию и вследствие этого подъему уровня грунтовых вод на приканальных территориях.

Другим показателем надежности противофильтрационных облицовок следует считать повреждаемость противофильтрационного элемента П, который формируется в период строительства или реконструкции.

Противофильтрационная защита каналов на оросительных системах при проведении реконструкции бетонных облицовок в значительной мере зависит от степени их износа (повреждений). Так, при поврежденности бетонного полотна, составляющей порядка 50 %, предусматривается полная его замена. На устойчивых и среднеустойчивых основаниях целесообразно применять сборные и сборно-монолитные противофильтрационные облицовки, выполняемые на межхозяйственных и внутрихозяйственных мелиоративных сетях. В этой связи КПД каналов, прошедших реконструкцию, должен достигать 0,94–0,96. При средней степени повреждения бетонного покрытия, составляющей 10–50 %, необходимо производить восстановление (ремонт) по уже существующему бетонному полотну. Для покрытий с незначительной поврежденностью 10–20 % следует выполнять частичную замену по характерным разрушенным участкам. При наиболее низкой степени повреждаемости, которая характеризуется значением до 10 %, восстановительные работы выполняются по обнаруженным повреждениям (трещины, сколы, выбоины, разрушенные деформационные швы).

В свою очередь, при длительной эксплуатации мелиоративных систем снижается водонепроницаемость устроенных противофильтрационных покрытий, что способствует увеличению фильтрационных потерь, разрушению бетонных покрытий и, как следствие, ухудшению несущей способности всей конструкции [8]. Образование различных повреждений в виде трещин и сколов на поверхности облицовок, а также на продольных и поперечных стыках приводит к выходу из строя противофильтрационных устройств. Для обеспечения надежного уплотнения трещин, образовавшихся на бетонных облицовках, используются методы прогнозирования их образования. Для обоснования применения наиболее рациональных ремонтных материалов при проведении реконструкции определяют параметры трещин, наибольшая длина трещины будет равна:

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_B + \Delta l_\Gamma,$$

где Δl_t – деформации в трещине по ее длине и ширине, мм;

Δl_B , Δl_Γ – деформации от вертикальных и горизонтальных смещений плит, мм, а ширина раскрытия трещин (Δb), м, по В. Б. Резнику [10], будет определяться как:

$$\Delta b = \Delta b_t + \Delta b_h,$$

где Δb_t – деформации в плитах по их длине и ширине от воздействия температуры, мм;

Δl_B , Δl_Γ , Δb_h – деформации от вертикальных и горизонтальных смещений плит, мм.

Исследованиями В. Б. Резника [10] установлено, что деформации от воздействия температуры можно определить по следующим зависимостям:

- при поперечной по отношению к каналу укладке бетонных плит:

$$\Delta b_t = \alpha L(t_2 - t_1);$$

- при продольной по отношению к каналу укладке бетонных плит:

$$\Delta b_t = \alpha B(t_2 - t_1),$$

где α – коэффициент линейного расширения бетона;

L , B – длина и ширина бетонной плиты, м;

$t_2 - t_1$ – разность температур, °С.

Деформации от вертикальных смещений (Δb_h), м, определяют по формуле:

$$\Delta b_h = h^2(2l - b),$$

где h – вертикальные смещения по высоте (наибольшая ширина раскрытия трещины), мм;

l – длина раскрытия трещины, м;

b – ширина раскрытия трещины, м.

После получения данных о повреждениях противофильтрационных устройств на выбранных участках каналов для проведения ремонтно-восстановительных работ осуществляется реконструкция, которая характеризуется выполнением последовательного алгоритма работ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Алгоритм контроля и проведения работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем

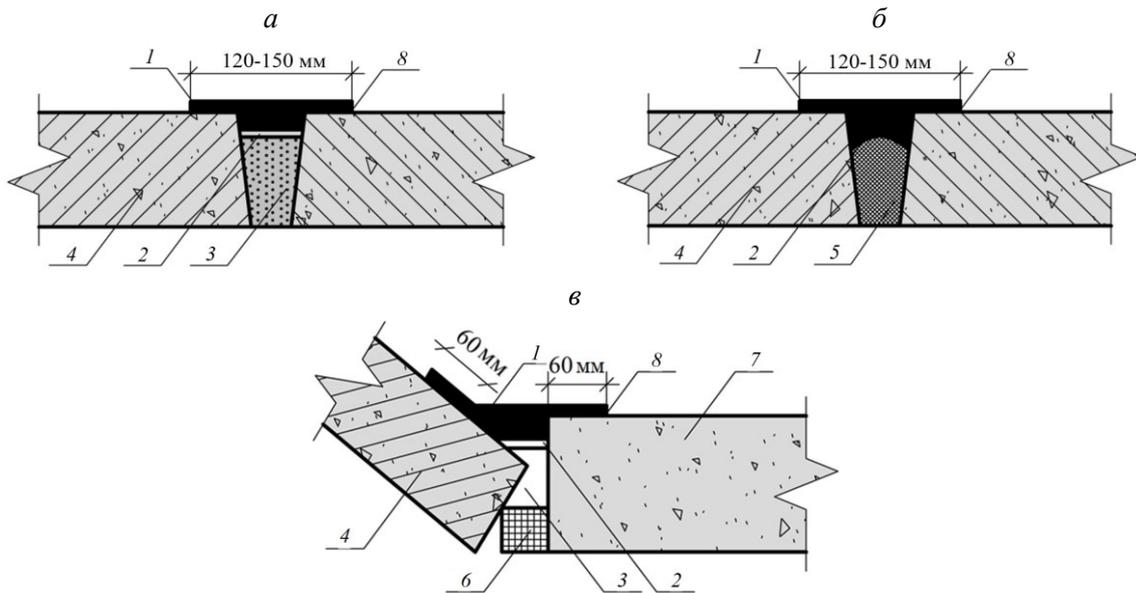
Figure 1 – Algorithm for monitoring and carrying out work during the reconstruction of canals (objects) of irrigation systems

При проведении реконструкции оросительных каналов особое внимание должно быть уделено деформационным швам, через которые теряется значительный объем воды. Для конструкций швов в сборных монолитных комбинированных облицовках могут быть использованы технологические схемы производства работ (рисунки 2 и 3):

- механизированным способом с использованием заливщика швов при больших объемах герметизации швов;
- ручным способом при малых объемах работ по герметизации швов на каналах глубиной до 3 м.

Представленные виды деформационных швов отличаются хорошей работоспособностью и высокой надежностью при соблюдении соответствующих требований при их устройстве. Положительное свойство подобных конструкций – безотказность их работы в течение продолжительного срока эксплуатации. Однако наряду с этим имеется и серьезный недостаток: они характеризуются значительной трудоемкостью.

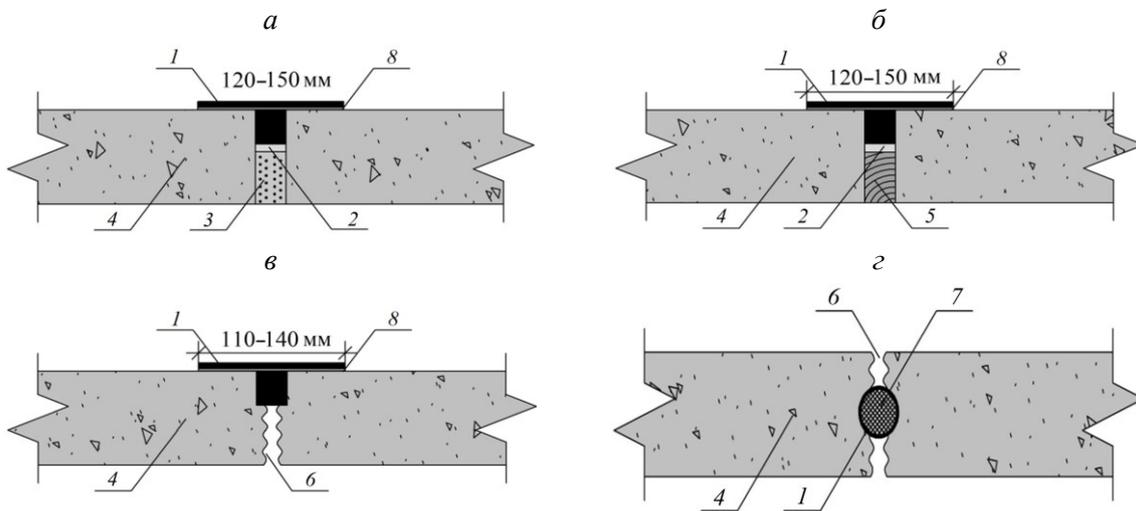
В связи с этим основное требование, которое устанавливается к деформационным швам облицовок каналов, – герметичность и надежность в процессе их продолжительной эксплуатации.



а, б – конструкции шва, применимые для любого варианта устройства облицовки из сборных железобетонных плит; *в* – конструкция шва, применимая для сопряжения откосных сборных плит; *1* – битумно-полимерная мастика; *2* – противoadгезионный слой; *3* – цементный раствор; *4* – сборные железобетонные плиты; *5* – порозол; *б* – упорные призмы из бетона; *7* – монолитный бетон; *8* – заплечики из битумно-полимерной мастики

Рисунок 2 – Конструкции деформационных швов сборных и комбинированных облицовок каналов

Figure 2 – Designs of expansion joints prefabricated and combined canal linings



а, б – конструкции деформационных швов монолитных облицовок каналов; *в, г* – конструкции ложных температурно-усадочных швов монолитных облицовок каналов; *1* – битумно-полимерная мастика; *2* – противoadгезионный слой; *3* – цементный раствор М-100; *4* – монолитный бетон; *5* – антисептированный деревянный брус; *6* – усадочные трещины; *7* – порозол; *8* – заплечики из битумно-полимерной мастики

Рисунок 3 – Конструкции деформационных и ложных швов в монолитных облицовках каналов

Figure 3 – Designs of deformation and false seams in monolithic canal linings

Выводы

1 Рассмотрены рациональные конструктивно-технологические решения противофильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов, которые выбираются на основании главных показателей надежности (технических, технологических и эксплуатационных). Наряду с этим показаны технологические схемы производства работ по восстановлению деформационных швов с целью исключения производственных и фильтрационных потерь.

2 Представлен алгоритм контроля и проведения ремонтно-восстановительных работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем, регламентирующий всю последовательность и объем выполняемых работ на оросительных системах (объектах).

Список источников

1. Алимов А. Г. Противофильтрационная защита каналов и водоемов // Гидротехническое строительство. 2008. № 4. С. 36–41.

2. Косиченко Ю. М., Бородин В. А., Ищенко А. В. Инструкция по расчету водопроницаемости и эффективности противофильтрационных облицовок каналов / Союзгипроводхоз, ЮжНИИГиМ. М., 1984. 72 с.

3. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.

4. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противофильтрационных экранов каналов, водоемов и накопителей / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2015. 65 с. Деп. в ВИНТИ РАН 12.01.15, № 1-B2015.

5. Ищенко А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов. Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. 212 с.

6. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Рыбкин В. Н. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем. Коломна, 2006. 391 с.

7. Косиченко Ю. М., Иовчу Ю. И. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов // Природообустройство. 2008. № 1. С. 70–73.

8. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Многослойные конструкции противофильтрационных покрытий с бентонитовыми матами и оценка их сравнительной эффективности // Гидротехническое строительство. 2019. № 3. С. 37–43.

9. Косиченко Ю. М., Угроватова Е. Г., Баев О. А. Обоснование расчетных зависимостей фильтрационных сопротивлений конструкций облицовок каналов // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2015. Т. 278. С. 35–46.

10. Резник В. Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. Киев: Будивельник, 1987. 176 с.

References

1. Alimov A.G., 2008. *Protivofil'tratsionnaya zashchita kanala i vodoemov* [Anti-filtration protection of canals and water bodies]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 4, pp. 36-41. (In Russian).

2. Kosichenko Yu.M., Borodin V.A., Ishchenko A.V., 1984. *Instruktsiya po raschetu vodopronitsaemosti i effektivnosti protivofil'tratsionnykh oblitsovok kanalov* [Recommendations on Permeability and Efficiency Calculation of Seepage-control Linings of the Channels]. Soyuzgiprovodkhov, YuzhNIIGiM, Moscow, 72 p. (In Russian).

3. Altunin V.S. [et al.], 1988. *Zashchitnye pokrytiya orositel'nykh kanalov* [Protective Coatings for Irrigation Canals]. Moscow, Agropromizdat Publ., 160 p. (In Russian).

4. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2015 *Rekomendatsii po primeneniyu geosinteticheskikh materialov dlya protivofil'tratsionnykh ekranov kanalov, vodoemov i nakopiteley* [Recommendations on the Use of Geosynthetic Materials for Impervious Screens of Canals, Reservoirs and Waste Ponds]. Novocherkassk, 65 p., deposited in VINITI RAS on 12.01.2015, no. 1-B2015. (In Russian).

5. Ishchenko A.V., 2006. *Povyshenie effektivnosti i nadezhnosti protivofil'tratsionnykh oblitsovok orositel'nykh kanalov: monografiya* [Improving the Efficiency and Reliability of Impervious Linings of Irrigation Canals]. Rostov-on-Don, Journal "Bulletin of Universities in North-Caucasian region" Publ., 212 p. (In Russian).

6. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Rybkin V.N., 2006. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh system* [Operation and Monitoring of Reclamation Systems]. Kolomna, 391 p. (In Russian).

7. Kosichenko Yu.M., Iovchu Yu.I., 2008. *Kriterii ekspluatatsionnoy nadezhnosti orositel'nykh kanalov* [Criteria for operational reliability of irrigation canals]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 70-73. (In Russian).

8. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2019. *Mnogosloynnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy s bentonitovymi matami i otsenka ikh sravnitel'noy effektivnosti* [Multilayer structures of impervious coatings with bentonite mats and assessment of their comparative efficiency]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 3, pp. 37-43. (In Russian).

9. Kosichenko Yu.M., Ugrovatova E.G., Baev O.A., 2015. *Obosnovanie raschetnykh zavisimostey fil'tratsionnykh soprotivleniy konstruksiy oblitsovok kanalov* [Justification of the calculated dependences of seepage resistances of canal lining structures]. *Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva* [Proc. of VNIIG named after B. E. Vedeneev], vol. 278, pp. 35-46. (In Russian).

10. Reznik V.B., 1987. *Novye materialy i konstruksii na osnove polimerov v vodokhozyaystvennom stroitel'stve* [New Materials and Structures Based on Polymers in Water Industry Construction]. Kyiv, Budivelnik Publ., 176 p. (In Russian).

Информация об авторе

А. Ю. Гарбуз – научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

A. Yu. Garbuz – Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 15.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 15.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.

Научная статья

УДК 631.67:631.8:633.491

Суммарное водопотребление и продуктивность картофеля при орошении и внесении минеральных удобрений

Александр Николаевич Бабичев¹, Дмитрий Петрович Сидаренко²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

Аннотация. Цель: установление влияния различных технологий орошения и внесения минеральных удобрений на суммарное водопотребление и продуктивность картофеля весеннего срока посадки. **Материалы и методы.** В рамках проводимых исследований был использован ряд методик: теоретические, экспериментальные, полевые. Во время проведения полевых опытов, при обработке и анализе результатов экспериментальных исследований были использованы следующие методы: водного баланса, теории вероятностей и математической статистики, физического и математического моделирования. **Результаты.** Проведенные исследования показали, что урожайность картофеля весеннего срока посадки изменялась от 25,7 до 46,8 т/га в зависимости от режима орошения и технологии внесения минеральных удобрений. Между величиной суммарного водопотребления и урожайностью картофеля по вариантам опыта установлена зависимость, коэффициент детерминации $R^2 = 0,81$. **Выводы.** В ходе проведения исследований подтверждено, что использование технологии прецизионного орошения позволяет не только экономить столь дефицитные водные ресурсы, но и в сочетании с прецизионной технологией внесения минеральных удобрений получать урожайность выше, чем при использовании рекомендованных зональными системами земледелия технологий возделывания сельскохозяйственных культур на орошении.

Ключевые слова: картофель, водопотребление, орошение, урожайность, прибавка

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: работа выполнена в рамках Междисциплинарного проекта № 20-69-47110 «Система мониторинга сельскохозяйственных показателей в видимом, инфракрасном и гиперспектральном режимах съемки».

Original article

Total water consumption and potato productivity for irrigation and mineral fertilizers application

Alexander N. Babichev¹, Dmitry P. Sidarenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

Abstract. Purpose: to determine the influence of various irrigation technologies and mineral fertilizers application on total water consumption and spring planted potatoes. **Materials and methods.** A number of methods such as theoretical, experimental and field were used within the framework of the research. During the field experiments, in processing and analyzing the results of experimental studies such methods as water balance, probability theory and

mathematic statistics, physical and mathematical modeling were used. **Results.** The conducted studies showed that spring planted potato productivity varied from 25.7 to 46.8 t/ha, depending on the irrigation regime and the technology of applying mineral fertilizers. According to the variants of the experiment, a relationship between the value of consumptive water use and potato productivity was established, the coefficient of determination $R^2 = 0.81$. **Conclusions.** In the course of the research, it was confirmed that the use of precision irrigation technology allows not only to save such scarce water resources, but also, to obtain higher yields in combination with precision technology for applying mineral fertilizers, than when using the technologies recommended by zonal farming systems for irrigated crop cultivation.

Keywords: potatoes, water consumption, irrigation, productivity, surplus

Information about the research work, the results of which are published in the article: the work was carried out within the frame of the Interdisciplinary project no. 20-69-47110 “Monitoring system of agricultural indicators in the visual, infrared and hyperspectral exposure modes”.

Введение. Суммарное водопотребление любой сельскохозяйственной культуры является основным элементом расходной части водного баланса. Картофель успешно возделывают во многих регионах России. Однако в аридной зоне юга страны, обладающей значительными тепловыми ресурсами и плодородными почвами, но одновременно характеризующейся недостатком влаги, залог высокой урожайности – орошение [1–6].

Орошение картофеля в Ростовской области является эффективным мероприятием, позволяющим при правильном сочетании режима водоподачи с высокой агротехникой получать урожайность в 2,8–3,6 раза больше по сравнению с участками без орошения независимо от погодных условий [7].

Цель исследований состояла в установлении влияния различных технологий орошения и внесения минеральных удобрений на суммарное водопотребление и продуктивность картофеля весеннего срока посадки.

Материалы и методы. В рамках проводимых исследований был использован ряд методик: теоретические, экспериментальные, полевые. Во время проведения полевых опытов, при обработке и анализе результатов экспериментальных исследований были использованы следующие методы: водного баланса, теории вероятностей и математической статистики, физического и математического моделирования. Почвенно-климатические характеристики и схема опытного участка приводились нами ранее [8, 9].

Результаты и обсуждения. Погодные условия 2021 г. по количеству выпавших осадков были благоприятными для возделывания картофеля. Так, в критический период для формирования урожая количество осадков превышало среднеголетние показатели в мае в 1,6 раза, а в июне в 3,2 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение осадков за период с апреля по июль

В мм

Table 1 – Distribution of precipitation for the period from April to July

In mm

Количество осадков	Апрель	Май	Июнь	Июль
2021	68	88	86	76
Среднеголетние данные (2012–2021 гг.)	35	58	27	42
Примечание – Данные о сумме осадков взяты с сайта https://rp5.ru по метеостанции № 34636 г. Семикаракорск Ростовской области, среднеголетние данные о количестве осадков взяты по метеостанции № 34636 г. Семикаракорск, сайт http://www.pogodaiklimat.ru/history/34636.htm (среднее за 2012–2021 гг.).				

Наиболее наглядно распределение осадков перед посадкой, а также в период роста и развития картофеля весенней посадки показывает рисунок 1.

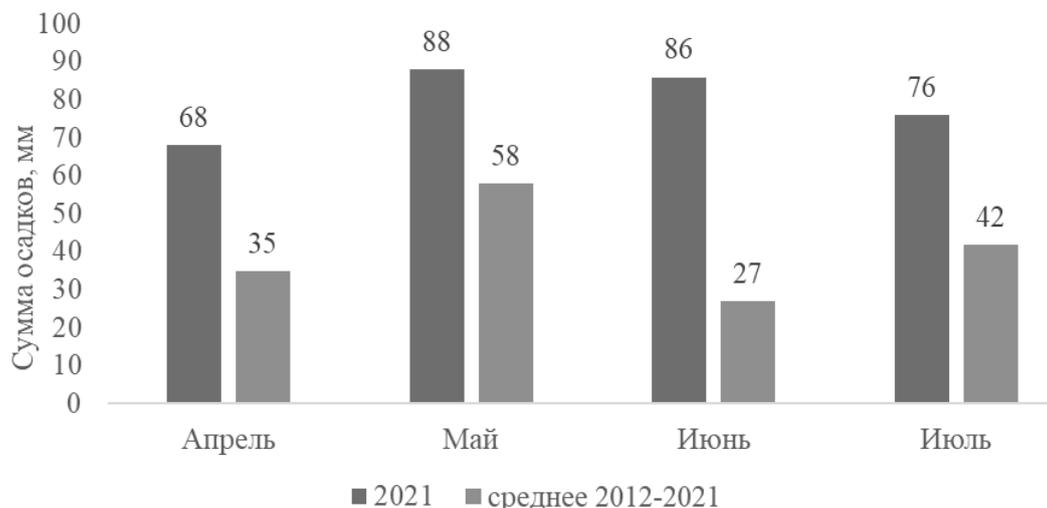


Рисунок 1 – Распределение осадков за период с апреля по июль

Figure 1 – Distribution of precipitation for the period from April to July

По степени обеспеченности осадками за период вегетации картофеля (май – август) год исследований можно охарактеризовать как влажный (ГТК = 1,14).

Суммарное водопотребление картофеля по вариантам опыта с рекомендуемой технологией орошения колебалось от 425,1 до 464,2 мм. В вариантах опыта с прецизионной технологией орошения величина суммарного водопотребления сократилась до 409,2–449,3 мм (таблица 2). Поливы по вариантам опыта проводили в одни и те же сроки, снижая или повышая норму полива.

Таблица 2 – Водопотребление и урожайность в зависимости от технологии орошения картофеля и внесения минеральных удобрений по вариантам опыта

Table 2 – Water consumption and yield depending on the technology of irrigating potatoes and applying mineral fertilizers by experience options

Вариант опыта	Суммарное водопотребление, мм	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Урожайность, т/га
80 % наименьшей влагоемкости (НВ) в слое 0,6 м (рекомендованный зональными системами земледелия (ЗСЗ))			
Без удобрений	425,1	165,4	25,7
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная ЗСЗ) (контроль)	464,2	110,8	41,9
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	457,5	103,5	44,2
Прецизионное орошение			
Без удобрений	409,2	140,6	26,4
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная ЗСЗ)	453,7	105,8	44,5
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	449,3	97,5	46,8

Проведенные исследования показали, что урожайность картофеля весеннего срока посадки изменялась от 25,7 до 46,8 т/га в зависимости от режима орошения и внесения минеральных удобрений. Применение рекомендуемой технологии орошения позволило получить урожайность от 25,7 до 44,2 т/га, максимальная урожайность была

получена в варианте опыта с прецизионной технологией внесения минеральных удобрений. Применение прецизионной технологии орошения позволило уменьшить величину суммарного водопотребления в сравнении с традиционной технологией орошения и увеличить урожайность в зависимости от технологии внесения минеральных удобрений от 26,4 до 46,8 т/га.

Между величиной суммарного водопотребления и урожайностью картофеля по вариантам опыта установлена зависимость, которая описывается уравнением $y = 0,2093e^{0,0117x}$ (рисунок 2). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,8114$. Чем ближе значение коэффициента к 1, тем сильнее зависимость.

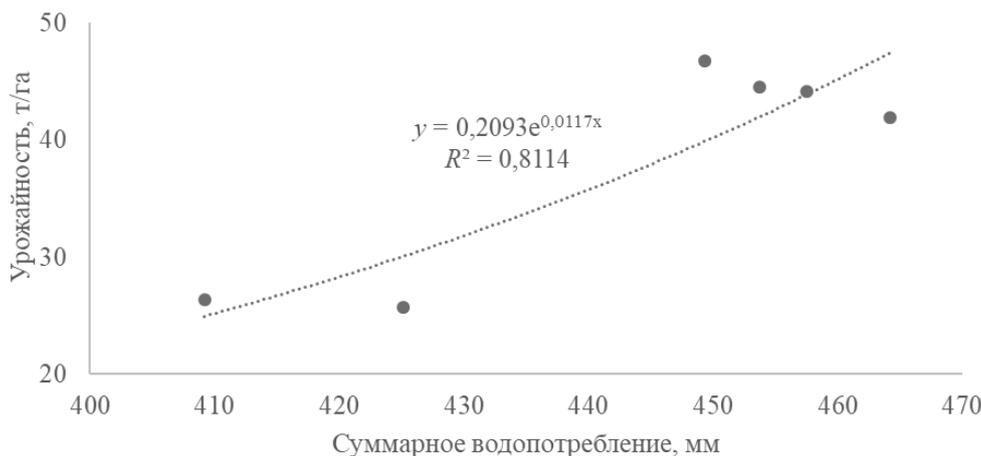


Рисунок 2 – Зависимость между суммарным водопотреблением и урожайностью

Figure 2 – Relationship between total water consumption and yield

По результатам проведенных исследований установлена зависимость между суммарным водопотреблением картофеля и коэффициентом водопотребления по вариантам опыта, которая описывается уравнением $y = 3624,1e^{-0,008x}$ (рисунок 3). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,6336$.

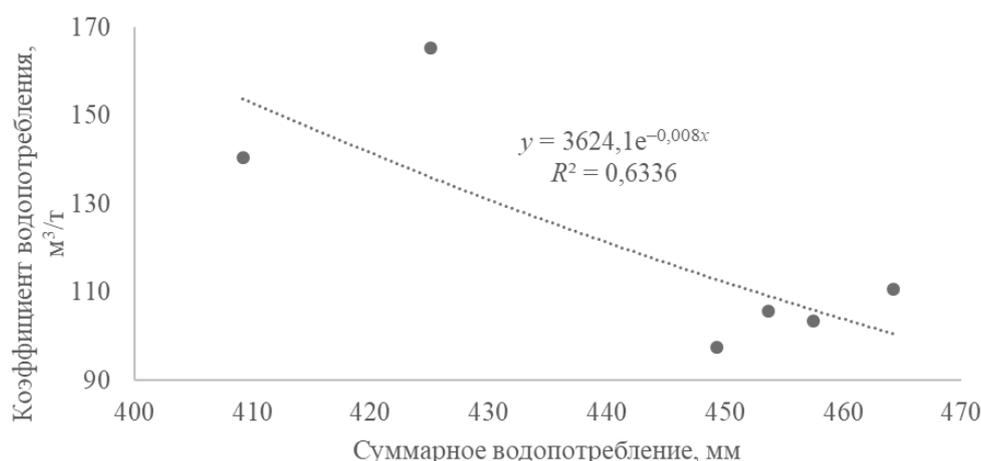


Рисунок 3 – Зависимость между суммарным водопотреблением и коэффициентом водопотребления

Figure 3 – Relationship between total water consumption and water consumption coefficient

Применение разных технологий орошения позволило обеспечить различную прибавку урожайности картофеля. В качестве контроля взяты варианты без применения удобрений (таблица 3).

Таблица 3 – Прибавка урожайности в зависимости от технологии орошения и внесения минеральных удобрений**Table 3 – Yield increase depending on irrigation technology and mineral fertilizers application**

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности	
		т/га	%
80 % НВ в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)			
Без удобрений	25,7	–	–
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная ЗСЗ) (контроль)	41,9	16,2	63,0
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	44,2	18,5	71,9
Прецизионное орошение			
Без удобрений	26,4	–	–
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная ЗСЗ)	44,5	18,1	68,6
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	46,8	20,4	77,3

Анализ данных таблицы 3 показывает, что в вариантах с рекомендуемой ЗСЗ технологией орошения обеспечена прибавка урожайности 16,2–18,5 т/га, или 63,0–71,9 %. Применение прецизионной технологии орошения обеспечило увеличение прибавки урожайности до 18,1–20,4 т/га, или 68,6–77,3 %. В вариантах опыта, где применялась прецизионная технология внесения минеральных удобрений, была получена самая высокая урожайность.

Выводы. Проведенные исследования показали преимущество прецизионной технологии орошения, которая обеспечивает сокращение величины суммарного водопотребления от 421,5 до 464,2 мм, что ниже, чем в вариантах опыта с рекомендуемой ЗСЗ технологией орошения. В сочетании с прецизионной технологией внесения минеральных удобрений прецизионная технология орошения обеспечила увеличение урожайности картофеля до 46,8 т/га и повышение прибавки урожайности до 20,4 т/га. В ходе проведения исследований подтверждено, что использование технологии прецизионного орошения позволяет не только экономить столь дефицитные водные ресурсы, но и получать урожайность выше, чем при использовании рекомендованных ЗСЗ технологий возделывания сельскохозяйственных культур на орошении.

Список источников

- Новиков А. А. Рациональное использование водных ресурсов картофеля при его выращивании в орошаемых звеньях севооборотов на черноземах // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 5. С. 37–40. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10507.
- Мелихов В. В., Новиков А. А. Капельное орошение и удобрение раннего картофеля: монография. Волгоград: Сфера, 2017. 232 с.
- Обоснование водного режима почвы при капельном орошении семенных посадок картофеля в Нижнем Поволжье / Н. Н. Дубенок, Д. А. Болотин, С. Д. Фомин, А. Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 18–26.
- Монастырский В. А., Бабичев А. Н., Ольгаренко В. И. Алгоритм расчета доз внесения минеральных удобрений в прецизионном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 26–38. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=985> (дата обращения: 01.10.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38.
- Ольгаренко В. Иг., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Принципы применения

элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения в сельскохозяйственном производстве // Новости науки в АПК. 2018. № 2. С. 23–26. DOI: 10.25930/61sr-d695.

6. Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Роль точного земледелия в программном выращивании урожая сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 50–53.

7. Новикова И. В. Орошение картофеля в Ростовской области: монография / под ред. Г. А. Сенчукова. Новочеркасск, 2005. 107 с.

8. Бабичев А. Н., Сидаренко Д. П. Влияние современных способов орошения на водопотребление картофеля // Актуальные вопросы совершенствования систем земледелия в современных условиях: материалы всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием). Махачкала: Федер. аграр. науч. центр Респ. Дагестан, 2020. С. 190–193.

9. Бабичев А. Н., Сидаренко Д. П. Водопотребление картофеля весенней посадки в зависимости от режима орошения и технологии внесения удобрений // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 1(85). С. 78–83.

References

1. Novikov A.A., 2020. *Ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov kartofelya pri ego vyrashchivanii v oroshaemykh zven'yakh sevooborotov na chernozemakh* [Rational use of water resources of potato at cultivation in irrigated crop rotations links on chernozems]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex], vol. 34, no. 5, pp. 37-40, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10507. (In Russian).

2. Melikhov V.V., Novikov A.A., 2017. *Kapel'noe oroshenie i udobrenie rannego kartofelya: monografiya* [Drip Irrigation and Fertilization of Early Potatoes: monograph]. Volgograd, Sfera Publ., 232 p. (In Russian).

3. Dubenok N.N., Bolotin D.A., Fomin S.D., Bolotin A.G., 2018. *Obosnovanie vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom oroshenii semennykh posadok kartofelya v Nizhnem Povolzh'e* [Substantiation of the water regime of soil under drip irrigation of seed potato fields in the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(51), pp. 18-26. (In Russian).

4. Monastyrsky V.A., Babichev A.N., Olgarenko V.I., 2019. [The calculation algorithm for rate of fertilizer application in precision farming]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(33), pp. 26-38, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=985> [accessed 01.10.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38. (In Russian).

5. Olgarenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2018. *Printsipy primeneniya elementov tekhnologii tochnogo zemledeliya i pretsizionnogo orosheniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve* [Principles of using elements of technology of precision farming and precision irrigation in agricultural production]. *Novosti nauki v APK* [News of Science in APK], no. 2, pp. 23-26, DOI: 10.25930/61sr-d695. (In Russian).

6. Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2017. *Rol' tochnogo zemledeliya v programmirovannom vyrashchivanii urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The role of precision farming in the programmed cultivation of agricultural crops]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 50-53. (In Russian).

7. Novikova I.V., 2005. *Oroshenie kartofelya v Rostovskoy oblasti: monografiya* [Irrigation of Potatoes in Rostov Region: monograph]. Novocherkassk, 107 p. (In Russian).

8. Babichev A.N., Sidarenko D.P., 2020. *Vliyanie sovremennykh sposobov orosheniya*

na vodopotreblenie kartofelya [Influence of modern irrigation methods on potato water consumption]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya sistem zemledeliya v sovremennykh usloviyakh: materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Current Issues of Improving Farming under Modern Conditions: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference (with International Participation)]. Makhachkala, Federal Agrarian Scientific Center of the Republic Dagestan, pp. 190-193. (In Russian).

9. Babichev A.N., Sidarenko D.P., 2022. *Vodopotreblenie kartofelya vesenney posadki v zavisimosti ot rezhima orosheniya i tekhnologii vneseniya udobreniy* [Water consumption of spring planted potatoes depending on the irrigation regime and fertilizer application technology]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(85), pp. 78-83. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

Д. П. Сидаренко – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

D. P. Sidarenko – Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 01.12.2022; принята к публикации 05.12.2022.

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 01.12.2022; accepted for publication 05.12.2022.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

RECLAMATION AND LAND CONSERVATION

Научная статья

УДК 631.67

Использование водных ресурсов для орошения на государственных гидромелиоративных системах в 2021 г.

Дмитрий Александрович Осипенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, rosniipm_vodreestr_gmvo@mail.ru

Аннотация. Цель: изучение и представление информации о плановых и фактических показателях забора (изъятия) водных ресурсов и их использования для орошения сельскохозяйственных культур на государственных гидромелиоративных системах в 2021 г. **Материалы и методы.** В ходе работы были использованы информационно-аналитические методы исследования, включающие в себя сбор, обобщение и комплексный анализ теоретической и научно-технической информации. Кроме того, учитывались данные, полученные от организаций, подведомственных Департаменту мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. **Результаты и обсуждение.** Сельское хозяйство Российской Федерации является одним из основных потребителей водных ресурсов. Наибольшие плановые и фактические показатели забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных источников в 2021 г. отмечены в Северо-Кавказском и Южном федеральных округах. В этих же округах отмечались наибольшие значения плановых и фактических показателей использования водных ресурсов в целях орошения. Фактические показатели в 2021 г. были меньше запланированных как в большинстве федеральных округов, так и в целом по России. **Выводы.** Проведен сравнительный анализ плановых и фактических показателей забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных источников, использования водных ресурсов в целях орошения на государственных гидромелиоративных системах в разрезе федеральных округов Российской Федерации в 2021 г. Полученные данные свидетельствуют о том, что фактические показатели забора (изъятия) водных ресурсов из природных источников, а также объемы их использования в целях орошения сельскохозяйственных культур в целом меньше их плановых значений.

Ключевые слова: гидромелиоративные системы, федеральные округа, водные ресурсы, орошение сельскохозяйственных культур

Original article

Water resources use for irrigation on state hydro-reclamation systems in 2021

Dmitry A. Osipenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, rosniipm_vodreestr_gmvo@mail.ru

Abstract. Purpose: to study and present information on the planned and actual indicators of water resources intake (withdrawal) and their use for crop irrigation on state hydro-reclamation systems in 2021. **Materials and methods.** In the course of the work, information

and analytical research methods including collection, generalization and comprehensive analysis of theoretical and scientific-technical information were used. In addition, data obtained from organizations subordinate to the Department of Land Reclamation of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation were taken into account. **Results and discussion.** The agriculture of the Russian Federation is one of the main consumers of water resources. The highest planned and actual indicators of water resources intake (withdrawal) of natural water sources in 2021 were noted in the North Caucasus and the Southern Federal Districts. In the same districts, the highest values of planned and actual indicators of water resources use for irrigation were noted. Actual indicators in 2021 were lower than planned ones both in most federal districts and in Russia as a whole. **Conclusions.** A comparative analysis of the planned and actual indicators of intake (withdrawal) of water resources from natural water sources, the use of water resources for irrigation on state irrigation and drainage systems in the context of the federal districts of the Russian Federation in 2021 was carried out. The data obtained indicate that the actual indicators of the intake (withdrawal) of water resources from natural sources, as well as the volumes of their use for the purpose of agricultural crops irrigation are generally less than their planned values.

Keywords: hydro-reclamation systems, federal districts, water resources, crop irrigation

Введение. Сельское хозяйство Российской Федерации является одним из основных потребителей водных ресурсов; на его долю приходится порядка 17 % от общего потребления пресной воды, из которых до 90 % используются в целях орошения сельскохозяйственных культур [1]. Наша страна характеризуется значительными запасами пресной воды, по их количеству она занимает второе место в мире после Бразилии [2]. Для управления ресурсами поверхностных водоисточников было построено около 30000 прудов и водохранилищ, суммарная емкость которых составляет свыше 900 км³. Из общего количества 2290 водохранилищ имеют объем свыше 1 млн м³, из них 110 водохранилищ имеют объем более 100 млн м³, 317 крупнейших гидроузлов страны имеют комплексное назначение, т. е. снабжают различных водопользователей, 125 служат нуждам гидроэнергетики (в числе прочих водопользователей). Водоохранилища 317 гидроузлов имеют объем 840 км³ (в т. ч. 340 км³ – полезный объем) [3]. Забор (изъятие) водных ресурсов осуществляется из природных водных источников организациями, подведомственными Демелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, на основании разрешительных документов, выдаваемых региональными организациями Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Материалы и методы. В ходе работы были использованы информационно-аналитические методы исследования, включающие в себя сбор, обобщение и комплексный анализ теоретической и научно-технической информации. Кроме того, учитывались данные, полученные от организаций, подведомственных Департаменту мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [4].

Результаты и обсуждение. Данные о заборе (изъятии) водных ресурсов из природных водных источников организациями, подведомственными Демелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, по федеральным округам Российской Федерации в 2021 г. представлены в таблице 1. Наибольшие плановые и фактические значения этих показателей наблюдались в Северо-Кавказском и Южном федеральных округах; в относительных величинах их фактические значения составили соответственно 58 и 34,1 % от общего объема забранной воды. В большинстве округов фактический объем забранной из природных источников воды не превышал плановых значений, лишь в Приволжском федеральном округе фактический забор воды превысил плановые показатели на 5,4 %. Еще в двух округах (Южном и Дальневосточном) это превышение было незначительным и составило 1,1 и 1,4 % соответственно. В целом по федеральным

округам фактический суммарный забор воды не превышал планового значения, разница между плановыми и фактическими показателями составила порядка 2 %.

Таблица 1 – Плановые и фактические показатели забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных источников

В тыс. м³

Table 1 – Planned and actual indicators of the intake (withdrawal) of water resources from natural water sources

In thousand m³

Федеральный округ	Забор из природного источника			
	план	факт	план – факт	разность/план, %
Центральный	30212	29472,5	739,5	2,5
Северо-Западный	0	0	0	–
Северо-Кавказский	8873770	8479625	394145	4,4
Южный	4932501	4987316,5	–54815,5	–1,1
Приволжский	909129,3	958152,6	–49023,3	–5,4
Уральский	7830,8	7278,8	552	7,1
Сибирский	103431,7	89689,2	13742,5	13,3
Дальневосточный	67921,6	68884,1	–962,5	–1,4
Итого	14924796,4	14620418,7	304377,7	2,0

В таблице 2 представлены данные об объемах использования водных ресурсов для орошения земель.

Таблица 2 – Плановые и фактические показатели использования водных ресурсов в целях орошения

В тыс. м³

Table 2 – Planned and actual indicators of water resources use for irrigation purposes

In thousand m³

Федеральный округ	Подача на орошение			
	план	факт	план – факт	разность/план, %
Центральный	33501	30507,3	2993,7	8,9
Северо-Западный	0	0	0	0
Северо-Кавказский	2483286	2235540,7	247745,3	10,0
Южный	3740821,2	3169619,3	571201,9	15,3
Приволжский	340619	356244,9	–15625,9	–4,6
Уральский	7775,6	7264,8	510,8	6,6
Сибирский	64618,2	52597,8	12020,4	18,6
Дальневосточный	53604,1	47939	5665,1	10,6
Итого	6724225,1	5899713,8	824511,3	12,3

Наибольшие фактические объемы использованной в целях орошения воды отмечены в Южном федеральном округе (3169619,3 тыс. м³, или 53,7 % от общего количества оросительной воды) и Северо-Кавказском федеральном округе (2235540,7 тыс. м³, или 37,9 %). Во всех федеральных округах Российской Федерации (за исключением Приволжского федерального округа) фактические значения подачи воды на орошение были ниже плановых значений: в Южном федеральном округе – на 15,3 %, Северо-Кавказском – на 10,0 %, Сибирском федеральном округе – на 18,6 %.

Данные о площадях орошения в разрезе федеральных округов представлены в таблице 3. Их максимальные плановые и фактические значения также отмечены в Северо-Кавказском и Южном федеральных округах.

Таблица 3 – Плановые и фактические показатели орошаемых площадей

В тыс. га

Table 3 – Planned and actual indicators of irrigated areas

In thousand ha

Федеральный округ	Полиито физической площади			
	план	факт	план – факт	разность/план, %
Центральный	20,5	20,6	–0,1	–0,5
Северо-Западный	0	0	0	–
Северо-Кавказский	526,1	442,2	83,9	15,9
Южный	293,9	288,4	5,5	1,9
Приволжский	120	118,3	1,7	1,4
Уральский	4,5	4,4	0,1	2,2
Сибирский	34,3	29,1	5,2	15,2
Дальневосточный	25,5	7,1	18,4	72,0
Итого	1024,8	910,1	114,7	11,4

В Северо-Кавказском федеральном округе фактически политая площадь в 2021 г. составила 442,2 тыс. га, или 48,6 % от суммарно политой площади (по всем округам), в Южном федеральном округе – 288,4 тыс. га и 31,7 % соответственно. Практически во всех округах фактические значения политой площади были меньше плановых значений, особенно это различие выражено в Дальневосточном федеральном округе, где было полито всего 28 % площади орошаемых земель от их планового значения. Суммарно по федеральным округам фактически было полито на 114,7 тыс. га (или 11,4 %) меньше, чем было запланировано в 2021 г.

Выводы

1 Фактические показатели забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных источников организациями, подведомственными Демелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, в 2021 г. не превышали их плановых значений. В относительных величинах разница между ними составила порядка 2 %. Лишь в Приволжском федеральном округе наблюдалось заметное превышение фактического забора воды над плановым значением (на 5,4 %). Наибольшие фактические объемы использованной в целях орошения воды отмечены в Южном федеральном округе (53,7 % от общего количества оросительной воды) и Северо-Кавказском федеральном округе (37,9 %). Во всех федеральных округах Российской Федерации (за исключением Приволжского федерального округа) фактические значения подачи воды на орошение были ниже плановых значений.

2 Суммарные фактические показатели использования водных ресурсов в целях орошения как в целом по России, так и по федеральным округам также были меньше установленных плановых значений на 6,6–18,6 % (в зависимости от федерального округа), и только в Приволжском федеральном округе фактическое значение использованных водных ресурсов в целях орошения превышало плановое значение на 4,6 %.

3 Фактические показатели площади орошаемых земель в 2021 г. также были меньше запланированных и значительно изменялись по федеральным округам. В целом по Российской Федерации фактическая площадь была меньше запланированной на 11,4 %, что свидетельствует о значительном потенциале в использовании уже имеющихся орошаемых площадей (в частности, в Северо-Кавказском и Сибирском федеральных округах).

Список источников

1. Данилов-Данильян В. И. Водное хозяйство России [Электронный ресурс]. URL: http://cawater-info.net/review/pdf/russia_wm.pdf (дата обращения: 27.09.2022).
2. Думанская Е. Ученый: Европейской части России грозит катастрофический дефицит воды [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://rg.ru/2021/09/13/uchenyj-evropejskoj-chasti-rossii-grozit-katastroficheskij-deficit-vody.html> (дата обращения: 12.10.2022).
3. Румянцев И. С. Проблемы гидротехнического строительства в России // Мелиорация и рекультивация, экология. 2008. № 1. С. 12–17.
4. Об утверждении порядка представления и состава сведений, представляемых Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, для внесения в государственный водный реестр [Электронный ресурс]: приказ М-ва природ. ресурсов РФ от 30 нояб. 2007 г. № 316. Доступ из системы «Гарант Эксперт».

References

1. Danilov-Danilyan V.I. *Vodnoe khozyaystvo Rossii* [Water management of Russia], available: http://cawater-info.net/review/pdf/russia_wm.pdf [accessed 27.09.2022]. (In Russian).
 2. Dumanskaya E., 2021. *Uchenyy: Evropeyskoy chasti Rossii grozit katastroficheskij defitsit vody* [Scientist: The European part of Russia is threatened by a catastrophic water shortage], available: <https://rg.ru/2021/09/13/uchenyj-evropejskoj-chasti-rossii-grozit-katastroficheskij-deficit-vody.html> [accessed 12.10.2022]. (In Russian).
 3. Rumyantsev I.S., 2008. *Problemy gidrotekhnicheskogo stroitel'stva v Rossii* [Problems of hydraulic engineering construction in Russia]. *Melioratsiya i rekul'tivatsiya, ekologiya* [Reclamation and Recultivation, Ecology], no. 1, pp. 12-17. (In Russian).
 4. *Ob utverzhdenii poryadka predstavleniya i sostava svedeniy, predstavlyaemykh Ministerstvom sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, dlya vneseniya v gosudarstvennyy vodnyy reestr* [On approval of the procedure for presentation and composition of information submitted by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation for inclusion in the state water register]. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of 30 November, 2007, no. 316. (In Russian).
-

Информация об авторе

Д. А. Осипенко – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the author

D. A. Osipenko – Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.10.2022; одобрена после рецензирования 29.11.2022; принята к публикации 01.12.2022.

The article was submitted 18.10.2022; approved after reviewing 29.11.2022; accepted for publication 01.12.2022.

Научная статья

УДК 631.674:633.34

Исследование влияния капельного и внутрипочвенного орошения сои в экстремальных условиях на рисовых почвах

Евгений Владимирович Кузнецов¹, Анас Алматар²

^{1,2}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

¹dtn-kuz@rambler.ru

²anas.engineer1988@gmail.com

Аннотация. Цель: экспериментальное сравнение эффективности капельного (КО) и внутрипочвенного орошения (ВПО) при выращивании сои в экстремальных условиях на фоне отсутствия осадков и наличия высоких дневных температур воздуха на рисовых почвах в пожнивных посевах севооборота. **Материалы и методы.** Проведены сравнительные экспериментальные исследования режимов КО и ВПО, в которых обеспечивалось поддержание влажности рисовой почвы на уровне 90 % наименьшей влагоемкости в слое 0,5 м, в лизиметрах размером 1,25 × 2,7 × 0,7 м, которые находились в ботаническом саду КубГАУ. Посев сои на рисовых почвах в лизиметре проводили в два ряда с расстоянием между рядами 0,5 м на глубину 0,03–0,05 м в двух вариантах и двух повторностях. **Результаты.** Всхожесть семян сои при ВПО выше в 1,28 раза по сравнению с КО. В фазах ветвления, цветения и созревания высота сои при ВПО была больше на 3,6; 4,1 и 5,9 см соответственно в сравнении с КО. Количество бобов, их масса при ВПО больше на 24,2 и 24,1 % соответственно в сравнении с КО. Средняя урожайность сои для одинаковой оросительной нормы 3325 м³/га при КО и ВПО составляет 2,77 и 3,42 т/га соответственно, т. е. урожайность сои при ВПО увеличивается на 23,5 % по сравнению с КО. Суммарное водопотребление составляло 4997 м³/га при среднем коэффициенте водопотребления 1804 и 1461 м³/т для КО и ВПО соответственно. **Выводы.** Для одинаковой оросительной нормы средний коэффициент водопотребления уменьшается при ВПО на 23,5 % по сравнению с КО. Причиной разницы результатов между КО и ВПО является высокая температура воздуха и испаряемость с поверхности почвы. При КО поливная вода не успевает достичь полностью корневой системы растений.

Ключевые слова: капельное орошение, внутрипочвенное орошение, лизиметр, рисовая почва, соя

Original article

Study of drip and subsoil irrigation impact of soybean under extreme conditions on rice soils

Evgeny V. Kuznetsov¹, Anas Almatar²

^{1,2}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹dtn-kuz@rambler.ru

²anas.engineer1988@gmail.com

Abstract. Purpose: experimental comparison of the efficiency of drip (DR) and subsoil (SS) irrigation at growing soybeans in extreme conditions against the background of precipitation absence and the presence of daily high air temperatures on rice soils in stubble crops of crop rotation. **Materials and methods.** Comparative experimental studies of DR and SS re-

gimes were carried out, in which the moisture content of rice soil was maintained at the level of 90 % of the lowest moisture capacity in a layer of 0.5 m, in lysimeters $1.25 \times 2.7 \times 0.7$ m in size, which are found in the botanical garden of KubGAU. Soybeans were sown on rice soils in a lysimeter in two rows with a distance between rows of 0.5 m to a depth of 0.03–0.05 m in two variants and two repetitions. **Results.** The germination of soybean seeds at SS irrigation is 1.28 times higher than with DR irrigation. In the phases of branching, flowering, and maturation, the height of soybeans at SS was 3.6 higher; 4.1 and 5.9 cm, respectively, compared with DR. The number of beans, their weight at SS irrigation is more by 24.2 and 24.1 %, respectively, in comparison with DR. The average soybean yield for the same irrigation rate of 3325 m³/ha with DR and SS irrigation is 2.77 and 3.42 t/ha, respectively, i.e. the soybean yield at SS increases by 23.5 % compared with DR. The total water consumption was 4997 m³/ha with an average water consumption coefficient of 1804 and 1461 m³/t for DR and SS, respectively. **Conclusions.** For the same irrigation rate, the average water consumption coefficient decreases at SS irrigation by 23.5 % compared with DR. The reason for the difference in the results between DR and SS is the high air temperature and evaporation from the soil surface. At DR, irrigation water does not have enough time to reach the plant root system.

Keywords: drip irrigation, subsurface irrigation, lysimeter, rice soil, soybeans

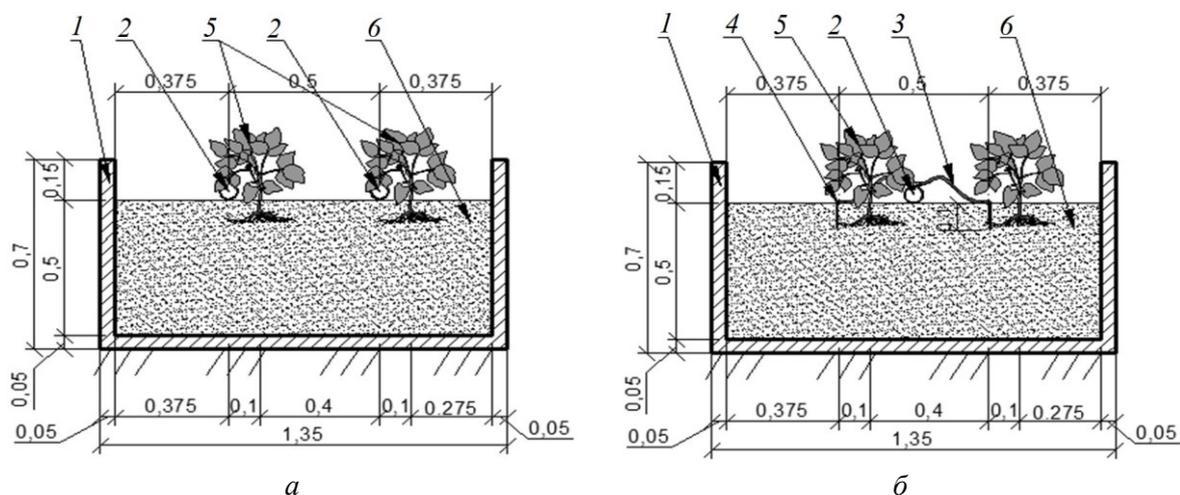
Введение. Полив растений является определяющим фактором для получения гарантированного урожая в течение всего цикла развития растений (вегетационного периода) от посева семян и (или) посадки клубней до созревания урожая. В настоящее время для сои применяются в основном дождевание, капельный и внутрипочвенный поливы [1]. Интерес к капельному (КО) и внутрипочвенному орошению (ВПО) повысился за последние два десятилетия, главным образом из-за возросшего дефицита, стремления сохранить водные ресурсы и наличия надежных компонентов системы ВПО [2].

В России за последнее десятилетие отмечается значительный рост производства сои, так, в 2017 г. увеличилась посевная площадь сои до 2,64 млн га и производство сои до 3,6 млн т по сравнению с 0,7 млн га и 0,74 млн т в 2005 г. В Краснодарском крае посевная площадь сои составляет около 160 тыс. га [3–5]. Увеличение посевных площадей сои вызвало необходимость поиска современных способов орошения в экстремальных условиях, позволяющих получить высокую урожайность культуры при минимальных затратах поливной воды, при этом необходимо создавать благоприятные условия в почве для растений, обеспечивающие повышение эффективности полива культур [2, 6, 7]. ВПО на сегодняшний день является наиболее перспективным [8, 9].

В этой связи целью исследований было сравнение эффективности КО и ВПО в экстремальных условиях при отсутствии осадков и наличии высоких дневных температур воздуха, которые могут достигать 42 °С, и изучение влияния этих условий на урожайность сои, выращиваемой на рисовых почвах в пожнивных посевах.

Материалы и методы. В июле 2021 г. на специальном опытном участке (лизиметре) размером $1,25 \times 2,7 \times 0,7$ м в ботаническом саду КубГАУ были проведены экспериментальные исследования, посвященные сравнению эффективности способов орошения (КО и ВПО), для сорта сои Арлета. В лизиметре предшественником сои являлась пшеница, выполнена обработка почвы на глубину 6–8 см. Посев сои проводили по два ряда с расстоянием между рядами 0,5 м на глубину 0,03–0,05 м в двух вариантах и двух повторениях. Было высажено по 85 семян сои в каждом лизиметре. Норма высева семян сои составила 450 тыс. шт./га. Под культивацию и подкормку сои вносились минеральные удобрения (азот, фосфор и калий) расчетной нормой [10]. Дно и стенки лизиметра были изготовлены из водонепроницаемого бетона таким образом, чтобы почва в лизиметре была изолирована от внешней среды.

Для выполнения КО размещались капельницы с расстоянием между ними 0,2 м, на поверхности почвы через 0,5 м прокладывались поливные трубки диаметром 16 мм с расстоянием от каждого ряда сои 0,1 м (рисунок 1а). Расход капельниц был принят равным 4 л/ч.



а – КО; б – ВПО; 1 – стенка лизиметра; 2 – труба 16 мм; 3 – капельная трубка диаметром 5 мм; 4 – капельницы Г-образные (0,1 м); 5 – растение сои; б – рисовая почва

Рисунок 1 – Поперечный разрез лизиметра с капельным и внутрипочвенным орошением

Figure 1 – Cross section of the lysimeter with drip and subsoil irrigation

Поливы системой ВПО (рисунок 1б) проводились через полиэтиленовые трубы диаметром 16 мм, которые находились на поверхности земли и соединялись со шлангом диаметром 5 мм, он в свою очередь соединялся с капельницей Г-образным способом с расходом 4 л/ч. Капельницы размещены в почве на глубине 0,1 м с расстоянием между ними 0,2 м.

Для достоверности опытов была доставлена почва лугово-черноземная пахотного горизонта с рисового поля. В таблице 1 представлено содержание аммония, подвижного фосфора и обменного калия в пахотном горизонте опытной почвы. Среднее содержание гумуса было равно 3,92 %, средняя плотность почвы в слое 0–20 см 1,2 т/м³, а для слоя почвы 20–50 см составляет 1,34 т/м³. По механическому составу почва относится к тяжелосуглинистой. Наименьшая влагоемкость (НВ) почвы и рН в слое 0–20 см составляют соответственно 27,4 %, 6,5–7, а для слоя 20–50 см составляют 26,5 %, 7–7,5 соответственно.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы

В мг/100 г

Table 1 – Agrochemical characteristics of soil

In mg/100 g

Горизонт почвы, см	Содержание подвижных форм		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0–20	0,81	4,07	34,7
20–50	0,72	4,23	28,4

Устанавливался гидротермический коэффициент (ГТК) по вариантам. Формула для расчета ГТК имеет вид [11]:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0,1 \sum T \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

где $\sum P$ – сумма осадков за месяцы при температуре выше 10 °С;

$\sum T$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха выше 10 °С.

Краснодарский край расположен в западной части России. Согласно статистическим данным, среднегодовые температуры зимой в Краснодарском крае опускаются до минус 3 °С. Средняя температура летом плюс 24 °С. Годовое количество выпавших осадков в среднем от 500 мм. Для местности в целом характерно жаркое и сухое лето, самая высокая температура воздуха отмечалась в Краснодаре 20 июля 2021 г. (42 °С). Зима в Краснодаре умеренно мягкая и комфортная. Теплый температурный период (не ниже 0 °С) длится примерно семь – девять месяцев в году [12]. В таблице 2 даны метеорологические данные за периоды исследований.

Таблица 2 – Метеорологические данные, метеостанция г. Краснодар

Table 2 – Meteorological data, Krasnodar weather station

Месяц	2021 г.					Среднемноголетнее		
	$\sum P$, мм	t , °С	$\sum T$, °С	U , %	ГТК	$\sum P$, мм	t , °С	U , %
Июль	27	26,2	811,7	58	0,33	66	24,9	68
Август	32	25,8	794,0	72	0,40	41	24,7	62
Сентябрь	55	20,4	655,4	67	0,84	51	19,2	68
Октябрь	33	14,4	383,0	75	0,86	61	12,9	75
Ноябрь	35	8,4	289,0	80	1,20	66	6,9	81

Примечание – $\sum P$ – сумма атмосферных осадков, мм; t – среднесуточная температура воздуха, °С; $\sum T$ – сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °С; U – относительная влажность воздуха, %.

Из данных таблицы 2 видно, что среднесуточная температура воздуха в июле, августе, сентябре, октябре и ноябре больше нормы на 1,3; 1,1; 1,2; 1,5 и 1,5 °С соответственно, суммы атмосферных осадков составляют 40,9; 78; 107,8; 54,1 и 53 % от нормы в июле, августе, сентябре, октябре и ноябре соответственно. Средний ГТК за периоды исследований составляет 0,73, таким образом, характеризует район с засушливым климатом.

Для получения гарантированных и стабильных урожаев сои при данных природно-климатических характеристиках района основным условием является необходимость возделывания культуры на орошаемых землях при поддержании научно обоснованных норм влагообеспеченности, так как естественная влагообеспеченность сои составляет 40 % от оптимальной [13].

При КО и ВПО обеспечивалось поддержание уровня увлажнения за вегетационный период сои 90 % НВ в слое почвы 0–0,5 м, оросительные нормы при КО и ВПО были одинаковы (3325 м³/га) при 25 поливах поливной нормой 133 м³/га. Влажность почвы в слое 0,1 м перед посевом была равна 90 % НВ при КО и ВПО.

Результаты исследований и их обсуждение. Данные о всхожести семян при КО и ВПО показаны в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что всхожесть семян при КО составляет 67,5–71,8 %, а при ВПО всхожесть составила 87,1–91,8 %, т. е. всхожесть семян при ВПО выше в 1,27 раза всхожести семян при КО.

В таблице 4 приведены данные о наступлении и продолжительности фаз вегетации сои при КО и ВПО.

Таблица 3 – Всхожесть семян сои при капельном и внутрипочвенном орошении**Table 3 – Soybean seeds germination at drip and subsoil irrigation**

Способ орошения	№ лизиметра	Посеяно семян, шт.	Получено всходов семян, шт.	Всхожесть семян, %	
				повторение	в среднем
КО	1	85	61	71,8	70
	2		65	67,5	
ВПО	1		74	87,1	89
	2		78	91,8	

Таблица 4 – Продолжительность фаз вегетации растений сои

В сут

Table 4 – Duration of soybean plant vegetative stages

In days

Способ орошения	№ лизиметра	Фаза вегетации				Вегетационный период
		всходы – ветвление	ветвление – цветение	цветение – плодообразование	плодообразование – созревание	
КО	1	10	33	35	42	120
	2	9	35	34	40	118
ВПО	1	8	30	30	40	108
	2	7	31	28	40	106

Из данных таблицы 4 видно, что вегетационный период сои при ВПО короче, он варьировал от 106 до 108 дней, при КО этот период был равен 118–120 дням. Разница длины вегетационного периода сои между КО и ВПО составляет 12–14 дней.

По фазам вегетации измерялся линейный рост сои при КО и ВПО. Динамика роста культуры показана в таблице 5.

Таблица 5 – Биометрический рост сои

В см

Table 5 – Soybean biometric growth

In cm

Способ орошения	№ лизиметра	Высота растений		
		ветвление	цветение	созревание
КО	1	33,3	59,4	94,5
	2	34,2	60,8	94,8
ВПО	1	37,7	64,8	100,6
	2	36,9	63,5	100,4

Из данных таблицы 5 видно, что при ВПО высота растений в фазах ветвления, цветения и созревания была больше на 3,6; 4,1 и 5,9 см соответственно по сравнению с КО. Разница в высоте растений для одинаковых климатических условий и питания зависит только от режима орошения сои.

Биологическую урожайность сои определяли на 1 м² при КО и ВПО (таблица 6).

В таблице 6 показано, что количество и масса бобов больше при ВПО на 24,2; 24,1 % соответственно в сравнении с КО. Также влагообеспеченность в экстремальных условиях, обеспечиваемая при ВПО, для растений сои в значительной степени обуславливает рост продуктивности растений в сравнении с КО на 23,5 % [14].

В таблице 7 приведены показатели суммарного водопотребления сои.

Таблица 6 – Структура урожая сои**Table 6 – Soybean yield structure**

Способ орошения	№ лизи-метра	Количество бобов, шт.	Масса бобов, г	Масса зерна, г/м ²	Урожайность (биологическая), т/га
КО	1	692	470,5	271,0	2,71
	2	713	484,3	283,0	2,83
ВПО	1	886	603,4	346,0	3,46
	2	859	581,2	338,0	3,38

Таблица 7 – Суммарное водопотребление сои**Table 7 – Total water consumption of soybeans**

Способ орошения	№ лизиметра	Поступление влаги, м ³ /га			Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
		оросительная норма	из почвы	осадки			
КО	1	3325	122	1550	4997	2,71	1804
	2					2,83	
ВПО	1	3325	122	1550	4997	3,46	1461
	2					3,38	
НСР ₀₅	–	–	–	–	–	0,23	–

Из данных таблицы 7 видно, что при КО и ВПО суммарное водопотребление за вегетационный период сои составило 4997 м³/га, а израсходовалось воды на формирование 1 т бобов в среднем 1804 и 1461 м³/т соответственно при КО и ВПО.

Коэффициент водопотребления при ВПО уменьшается на 23,5 % по сравнению с КО для одинакового объема воды, подаваемого в почву. Разница результатов между КО и ВПО вызвана повышением температуры воздуха и испаряемостью с поверхности почвы, таким образом, поливная вода при КО не успевает достичь полностью корневой системы растений [14].

Выводы

1 При экстремальных условиях климата, когда имеется дефицит осадков, высокие температуры воздуха, достигающие 42 °С, и поддержания уровня влажности на фоне КО и ВПО на уровне 90 % НВ в слое почвы 0,5 м средняя урожайность сои сорта Арлета составила 2,77 и 3,42 т/га соответственно при одинаковой оросительной норме 3325 м³/га. Урожайность сои при ВПО выше на 23,5 % по сравнению с КО.

2 Коэффициент водопотребления при ВПО был равен 1461 м³/т и при КО 1804 м³/т, таким образом, при ВПО коэффициент водопотребления уменьшается на 23,5 % в сравнении с КО на фоне одинаковой оросительной нормы.

3 Установлено, что всхожесть семян, возделываемых в экстремальных условиях, при ВПО выше в 1,28 раза по сравнению с КО, высота растений сои в фазах ветвления, цветения и созревания при ВПО была больше на 3,6; 4,1 и 5,9 см соответственно, при этом продолжительность вегетационного периода сои для КО больше на 12–14 дней в сравнении с вегетационным периодом для ВПО.

4 Основной причиной значительной разницы результатов в виде урожайности сои между КО и ВПО является высокая температура воздуха и испаряемость с поверхности почвы, т. е. поливная вода при КО не успевает достичь полностью корневой системы растений.

Список источников

1. Соя при дождевании и капельном орошении / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. И. Шульц, Д. А. Пахомов // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 2. С. 48–49.
2. Subsurface drip irrigation: Past, present and future / C. R. Camp, F. R. Lamm, R. G. Evans, C. J. Phene // Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium, Phoenix, AZ. 2000. P. 363–372.
3. Балакай Г. Т., Селицкий С. А. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 3(35). С. 80–97. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1002> (дата обращения: 01.09.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-80-97.
4. Дробин Г. В. Соя: значение и место в АПК России // Техника и оборудование для села. 2012. № 5. С. 24–26.
5. Тильба В. А., Тишков Н. М. Биология сои: возможности оптимизации отдельных продукционных процессов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК. 2016. Вып. 3(167). С. 78–87.
6. Балакай Г. Т., Васильев С. М., Бабичев А. Н. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 2(26). С. 1–18. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=312> (дата обращения: 01.09.2022).
7. Ольгаренко Г. В., Васильев С. М., Балакай Г. Т. Концепция государственной программы «Восстановление и развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации на период 2020–2030 годов». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. 128 с.
8. Ахмедов А. Д. Оптимизация основных параметров систем внутрипочвенного орошения в условиях Нижнего Поволжья: монография. Волгоград: ВГСХА, 2005. 164 с.
9. Голованов А. И., Кузнецов Е. В. Основы капельного орошения (теория и примеры расчетов). Краснодар, 1996. 96 с.
10. Программирование технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Северного Кавказа: монография / Н. А. Кан [и др.]. Ростов н/Д.: Рост. кн. изд-во, 1985. 120 с.
11. Зоидзе Е. К., Хомякова Т. В. Основы оперативной системы оценки развития засух и опыт ее экспериментальной эксплуатации // Труды ВНИИСХМ. 2002. Вып. 34. С. 48–66.
12. Воронцов И. К. Климат Краснодарского края. М.: Наука, 1999. 178 с.
13. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю. П. Хрусталеv, В. Н. Василенко, И. В. Свисюк, В. Д. Панов, Ю. А. Ларионов. Ростов н/Д.: Бат. кн. изд-во, 2002. 184 с.
14. Бородычев В. В., Лытов М. Н., Моисеев М. Ю. Эффективность орошения сои в условиях Нижнего Поволжья // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 6. С. 36–38.

References

1. Borodychev V.V., Lytov M.N., Shults A.I., Pakhomov D.A., 2008. *Soya pri dozhdevanii i kapel'nom oroshenii* [Soya at sprinkling and drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 2, pp. 48-49. (In Russian).
2. Camp C.R., Lamm F.R., Evans R.G., Phene C.J., 2000. Subsurface irrigation drip: Past, present and future. Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium, Phoenix, AZ, pp. 363-372.
3. Balakai G.T., Selitsky S.A., 2019. [Productivity of soybean varieties under sprinkling irrigation and drip irrigation systems under the conditions of Rostov region]. *Nauchnyy*

zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii, no. 3(35), pp. 80-97, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1002> [accessed 01.09.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-80-97. (In Russian).

4. Drobin G.V., 2012. *Soya: znachenie i mesto v APK Rossii* [Soybean: importance and place in the agro-industrial complex of Russia]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and Equipment for the Village], no. 5, pp. 24-26. (In Russian).

5. Tilba V.A., Tishkov N.M., 2016. *Biologiya soi: vozmozhnosti optimizatsii otdel'nykh produktsionnykh protsessov* [Biology of soybean: possibilities to optimize the separate production processes]. *Maslichnyye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIMK* [Oil Crops. Scientific-Technical Bulletin of VNIIMK], iss. 3(167), pp. 78-87. (In Russian).

6. Balakay G.T., Vasiliev S.M., Babichev A.N., 2017. [The concept of new generation sprinkling machine for precision irrigation technology]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(26), pp. 1-18, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=312> [accessed 01.09.2022]. (In Russian).

7. Olgarenko G.V., Vasiliev S.M., Balakay G.T., 2019. *Kontseptsiya gosudarstvennoy programmy "Vosstanovlenie i razvitie meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period 2020–2030 godov": monografiya* [Concept of the State Program "Restoration and Development of the Reclamation Complex of the Russian Federation for the Period 2020–2030": monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM, 128 p. (In Russian).

8. Akhmedov A.D., 2005. *Optimizatsiya osnovnykh parametrov sistem vnutripochvennogo orosheniya v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya: monografiya* [Optimization of the Main Parameters of Subsoil Irrigation Systems under the Conditions of the Lower Volga Region: monograph]. Volgograd, VGSFA, 164 p. (In Russian).

9. Golovanov A.I., Kuznetsov E.V., 1996. *Osnovy kapel'nogo orosheniya (teoriya i primery raschetov)* [Fundamentals of Drip Irrigation (Theory and Examples of Calculations)]. Krasnodar, 96 p. (In Russian).

10. Kan N.A. [et al.], 1985. *Programmirovanie tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na oroshaemykh zemlyakh Severnogo Kavkaza: monografiya* [Programming of Agricultural Crop Cultivation Technology on the Irrigated Lands of the North Caucasus: monograph]. Rostov-on-Don, Rostov Book Publ., 120 p. (In Russian).

11. Zoidze E.K., Khomyakova T.V., 2002. *Osnovy operativnoy sistemy otsenki razvitiya zasukh i opyt ee eksperimental'noy ekspluatatsii* [Fundamentals of the operational system of drought development assessment and experience of its experimental operation]. *Trudy VNIISKHM* [Proceedings of VNIISKHM], iss. 34, pp. 48-66. (In Russian).

12. Vorontsov I.K., 1999. *Klimat Krasnodarskogo kraja* [Climate of the Krasnodar Territory]. Moscow, Nauka Publ., 178 p. (In Russian).

13. Khrustalev Yu.P., Vasilenko V.N., Svisyuk I.V., Panov V.D., Larionov Yu.A., 2002. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti* [Climate and Agro-climatic Resources of Rostov Region]. Rostov-on-Don, Bat. Book Publ., 184 p. (In Russian).

14. Borodychev V.V., Lytov M.N., Moiseev M.Yu., 2004. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti* [Efficiency of soybean irrigation in the conditions of the Lower Volga region]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 6, pp. 36-38. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Кузнецов – заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор;

А. Алматар – аспирант.

Information about the authors

E. V. Kuznetsov – Head of the Department, Doctor of Technical Sciences, Professor;

A. Almatar – Postgraduate Student.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата,
самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical
violations in scientific publications.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 18.11.2022;
принята к публикации 24.11.2022.*

*The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 18.11.2022; accepted for
publication 24.11.2022.*

Обзорная статья

УДК 631.67:633.511

Обоснование расчета доз внесения минеральных удобрений под хлопчатник на орошаемых землях Ростовской области

Александр Николаевич Бабичев¹, Юлия Ивановна Недоцукова²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹BabichevAN2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²nedotsukova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8221-949X>

Аннотация. Цель: проанализировать влияние минеральных удобрений на развитие хлопчатника на различных типах почв и обосновать дозы их внесения под эту культуру на орошаемых землях Ростовской области. **Обсуждение.** Рассмотрены работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные изучению норм и сроков внесения минеральных удобрений при возделывании хлопчатника. Так, астраханские ученые установили, что при одноразовом внесении минеральных удобрений при дозе азота 100 кг д. в./га масса коробочки и продуктивность 1 растения составили 5,4 и 34,4 г сырца соответственно. В условиях Южного Казахстана на светлых сероземах наибольший результат был получен на фоне N 100, P 80 кг/га при режиме орошения 0-1-1 (первый полив в фазе цветения, второй полив в фазе плодоношения – созревания) с поливной нормой 1200 м³/га. Пакистанские ученые выяснили, что при внесении азота в количестве 197 кг/га увеличивается рост и урожайность хлопчатника, а также показатели качества волокна. В штате Техас проводились полевые исследования для изучения влияния нормы и времени внесения калия на выход ворса и качество волокна. Применение калия перед посевом дало больший выход ворса только для сорта DP 1518 B2XF на обоих участках, а качество волокна варьировалось. В исследованиях волгоградских ученых наибольшая биологическая урожайность хлопка-сырца 5,33 т/га получена при поддержании предполивной влажности почвы 75-75-70 % наименьшей влагоемкости и внесении удобрений дозами N₁₇₅P₇₅K₅₆. **Выводы.** Обоснованы дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность хлопчатника 3, 4, 5 и 6 т/га в зависимости от обеспеченности чернозема обыкновенного питательными элементами. Они варьировали от N₁₄₆P₄₄K₀ при урожайности 3 т/га до N₂₉₆P₉₅K₁₄₉ при урожайности 6 т/га с очень высокой обеспеченностью калием, высокой обеспеченностью фосфором и средней азотом в слое 0–40 см.

Ключевые слова: хлопчатник, минеральные удобрения, урожайность хлопчатника, питательный режим, качество хлопчатника

Review article

Substantiation for calculating the rates of mineral fertilizers application for cotton on irrigated lands of Rostov region

Aleksandr N. Babichev¹, Julia I. Nedotsukova²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation

¹BabichevAN2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²nedotsukova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8221-949X>

Abstract. Purpose: to analyze the effect of mineral fertilizers on cotton development on various types of soils and to substantiate the rates of their application for this crop on irri-

gated lands of Rostov region. **Discussion.** The works of domestic and foreign scientists devoted to the study of the norms and terms of applying mineral fertilizers in cotton cultivation are considered. Thus, Astrakhan scientists found that with a one-time application of mineral fertilizers at a nitrogen dose of 100 kg a.i./ha, the weight of the box and the productivity of 1 plant were 5.4 and 34.4 g of raw material, respectively. Under the conditions of South Kazakhstan, the greatest result was obtained on light sierozems, against the background of N 100, P 80 kg/ha with an irrigation regime of 0-1-1 (the first irrigation in the flowering phase, the second irrigation in the fruiting-ripening phase) with an irrigation rate of 1200 m³/ha. Pakistani scientists found that when nitrogen is applied in the amount of 197 kg/ha, the growth and yield of cotton, as well as fiber quality indicators, increase. A field study was conducted in the state of Texas to investigate the effect of potassium application rate and timing on lint yield and fiber quality. Potassium application before sowing gave higher lint yield only for variety DP 1518 B2XF on both plots, but fiber quality varied. In the studies of Volgograd scientists, the highest biological yield of raw cotton 5.33 t/ha was obtained while maintaining the pre-irrigation soil moisture of 75-75-70 % of the minimum moisture capacity and applying fertilizers with doses of N₁₇₅P₇₅K₅₆. **Conclusions.** The mineral fertilizers rates for the planned cotton yield of 3, 4, 5 and 6 t/ha are substantiated, depending on the supply of ordinary chernozem with nutrients. They ranged from N₁₄₆P₄₄K₀ at an yield of 3 t/ha to N₂₉₆P₉₅K₁₄₉ at an yield of 6 t/ha with a very high supply of potassium and phosphorus, and an average supply of nitrogen in the 0–40 cm layer.

Keywords: cotton, mineral fertilizers, cotton yield, nutrient regime, cotton quality

Введение. Хлопчатник – широко востребованная агрокультура, выращиваемая для получения волокон, пряжи, ткани, масел и т. д. Эта культура требовательна по отношению к минеральным удобрениям, так как потребляет большое количество питательных веществ. Минеральные удобрения, улучшая питательный режим, способствуют усилению роста и развития хлопчатника.

Широкое использование минеральных удобрений в хлопководстве требует научного обоснования их использования [1].

Важной задачей является определение норм и сроков внесения минеральных удобрений. Также необходимо учитывать сортовую агротехнику и почвенно-климатические условия. Постоянное применение оптимальных норм минеральных удобрений не только обеспечивает получение высоких урожаев, но и гарантирует более раннее созревание урожая.

Вопросы минерального питания хлопчатника отражены во многих исследованиях [2–5]. Основными элементами питательного режима почв являются азот (N), фосфор (P) и калий (K). Влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на развитие, урожайность и качество хлопчатника показано на рисунке 1 [6, 7].

Обсуждение. Оптимизация доз внесения минеральных удобрений с учетом особенностей зон хлопкосеяния имеет приоритетное значение [1].

Так, в Астраханской области Н. Д. Токаревой изучались дозы и сроки внесения минеральных удобрений под хлопчатник на аллювиально-луговых тяжелосуглинистых темноцветных почвах [8]. Лучшие показатели были зафиксированы с одноразовым внесением минеральных удобрений при дозе азота 100 кг д. в./га, масса коробочки и продуктивность одного растения составили 5,4 и 34,4 г. Показатели хозяйственно ценных признаков растений хлопчатника при одноразовом внесении минеральных удобрений дозой азота 150 кг д. в./га были на уровне 4,9; 26,5 г, при 200 кг д. в./га масса коробочки составила 5,4 г, продуктивность одного растения – 27,0 г. При исследовании влияния сроков внесения минеральных удобрений на рост и развитие растений хлопчатника было выявлено, что азотные удобрения следует вносить весной, перед посевом, а фосфорные и калийные – под зяблевую вспашку или рано весной [9].

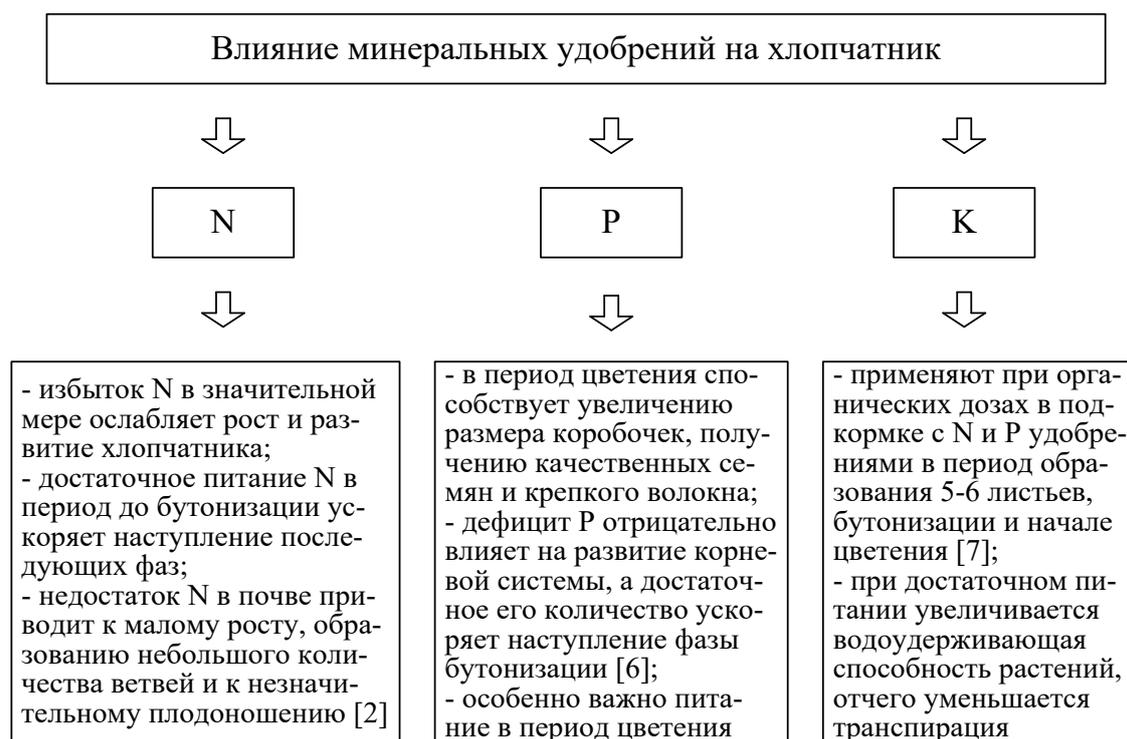


Рисунок 1 – Влияние минеральных удобрений на хлопчатник

Figure 1 – The impact of mineral fertilizers on cotton

Для получения 1 т хлопка-сырца в условиях Южного Казахстана на светлых сероземах необходимо N в среднем 50 кг, P – 20 кг, K – 50 кг. Исследования были проведены с четырьмя разными дозами внесения минеральных удобрений ($N_{60}P_{80}$, $N_{80}P_{80}$, $N_{100}P_{80}$, $N_{120}P_{80}$ кг д. в./га) при четырех поливных режимах (0-1-0, 0-2-0, 0-1-1, 0-2-1) с тремя разными нормами полива (800, 1200, 1600 м³/га). Наибольший результат был получен в четвертом варианте, где внесли N – 100, P – 80 кг/га при режиме орошения 0-1-1 (первый полив в фазе цветения, второй полив в фазе плодоношения – созревания) с поливной нормой 1200 м³/га. Наименьший результат был получен в первом варианте, где не вносились минеральные удобрения и не производились поливы. Незначительной прибавка урожая была во втором варианте – 2,2 ц/га, где внесли N – 60, P – 80 кг/га без полива, а в этом же варианте, но с одним поливом и при внесении такого же количества удобрений – 7,9 ц/га [10].

В условиях Южного Казахстана учеными М. Ж. Аширбековым, Ж. Я. Баткаевым выполнены исследования в 2006–2008 гг., целью которых было изучение возможности снижения дозы азота за счет внесения навоза без ущерба для плодородия почвы. Большая часть казахской территории Голодной степи занята светлыми сероземами, до орошения в различной степени солончаковатыми. Опыт проводился с сортом хлопчатника Махтаарал-3044. В результате исследований установлено, что при внесении в почву фоном 20 т/га навоза нормы промышленных азотных удобрений могут быть снижены с 200–250 до 70–140 кг д. в./га, т. е. в 2–3 раза. Исследователи пришли к выводу, что применение навоза сокращает нормы внесения минеральных удобрений без ущерба для плодородия почвы и урожайности хлопчатника [1].

Ученые из Узбекистана [11] для получения высококачественного урожая хлопчатника средневолокнистого сорта Бухара-102 в условиях орошаемых и засоленных почв Кашкадарьинской области рекомендуют:

- на незасоленных хлопковых полях использовать удобрения нормой $N_{190}P_{130}K_{90}$;

- на слабо- и умеренно засоленных хлопковых полях использовать удобрения нормой $N_{160}P_{100}K_{70}$.

В 2017 г. в Пакистане проводились полевые опыты, целью которых была оценка продуктивности четырех сортов хлопчатника (MNH-1016, FH-Lalazar, NIAB-878, Cyto-124) с применением азота и без него. Текстура почвы представляла собой супесчаный суглинок. Внесение азота в количестве 197 кг/га увеличило высоту растений, количество моноподиальных ветвей, площадь листьев, количество коробочек на растениях, урожайность семян хлопка, качество волокна по сравнению с вариантами без внесения азота [12].

Известно, что калий необходим для репродуктивного развития растения, он приводит к увеличению количества коробочек, улучшению качества волокна (длины, прочности, микронейра) за счет смягчения воздействия влаги. В штате Техас в 2016–2017 гг. проводились полевые исследования, посвященные определению нормы и сроков внесения калия и их влияния на выход ворса и качество волокна. В исследовании использовались сорта DP 1518 B2XF, DP 1522 B2XF, DP 1321 B2XF, DP 1612 B2XF. Почва на участках классифицировалась как мелкосуглинистый суглинок Амарилло и суглинок Олтон и Акафф (мелкосуглинистый, смешанный). Результаты показали, что применение калия перед посевом дало больший выход ворса только для DP 1518 B2XF на обоих участках. Реакция урожайности на норму калия и время его внесения тоже была разной в зависимости от местоположения, что объясняется разным составом почвы на участках, климатическими условиями и способами орошения [13].

В 2019–2020 гг. на участке между р. Волга и Дон проводился многофакторный полевой опыт. Одним из факторов был уровень минерального питания, представленный четырьмя вариантами расчетных доз минеральных удобрений: $N_{70}P_{30}K_{23}$, $N_{105}P_{45}K_{34}$, $N_{140}P_{60}K_{45}$, $N_{175}P_{75}K_{56}$. Почвы участка средне- и тяжелосуглинистые, светло-каштановые, с содержанием гумуса не более 1–2 %. Климат в этом регионе резко континентальный. Лето жаркое, сухое, в июле и августе почти без дождей. Зима холодная, с небольшим количеством снега. Исследования показали, что наибольшая биологическая урожайность хлопка-сырца 5,33 т/га получена при поддержании предполивной влажности почвы 75-75-70 % наименьшей влагоемкости и внесении удобрений дозами $N_{175}P_{75}K_{56}$ [14].

Таким образом, анализ данных научных исследований позволил установить оптимальные дозы внесения удобрений в зависимости от типа почвы и региона возделывания хлопчатника (таблица 1).

Таблица 1 – Оптимальные дозы внесения удобрений в зависимости от типа почвы и региона возделывания хлопчатника

В кг/га

Table 1 – Optimal doses of fertilizer application depending on the soil type and cotton growing region

In kg/ha

Регион	Тип почвы	Минеральное удобрение		
		N	P	K
1	2	3	4	5
Астраханская область, Россия	аллювиально-луговая, тяжелосуглинистая, темноцветная, слабо- и средnezасоленная	100	–	–
Нижнее Поволжье, Россия	средне- и тяжелосуглинистые, светло-каштановые, с содержанием гумуса не более 1–2 %	175	75	56

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5
Южный Казахстан	светлые сероземы	100	80	–
Узбекистан	незасоленные	190	130	90
	слабо- и умеренно засоленные	160	100	70
Пакистан	супесчаный суглинок	197	–	–
Америка, штат Техас	мелкосуглинистый суглинок	–	–	90
		–	–	180

Исходя из вышесказанного, следует отметить, что для получения повышенных и качественных урожаев хлопка-сырца необходимо учитывать как нормы минеральных удобрений, так и сроки их внесения.

Исследования, посвященные изучению доз минеральных удобрений на черноземах обыкновенных, запланированы на 2022–2024 гг. на полях Бирючукской овощной селекционной опытной станции – филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства», расположенной в г. Новочеркасск Ростовской области. По гранулометрическому составу почвы в слое 0–40 см относятся к суглинкам тяжелым. Лишь на глубине 60–80 см переходят в суглинок средний. По агрохимическим показателям почвы опытного участка в среднем в слое 0–40 см очень высоко обеспечены калием, высоко обеспечены фосфором и средне азотом.

Согласно данным П. П. Вавилова [15] и других авторов, для получения 1 ц хлопка-сырца требуется 5 кг азота, 1,7 кг фосфора и 5 кг калия.

Схема опыта с различными дозами минеральных удобрений, рассчитанными на планируемый урожай по методике М. К. Каюмова [16] и с помощью программы для ЭВМ [17], представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность хлопчатника, 2022 г.

В кг д. в./га

Table 2 – Doses of mineral fertilizers for the planned yield cotton, 2022

In kg of active agent/ha

Вариант, планируемая урожайность, т/га	Доза МУ
3,0	N ₁₄₆ P ₄₄ K ₀
4,0	N ₁₉₆ P ₆₁ K ₄₉
5,0	N ₂₄₆ P ₇₈ K ₉₉
6,0	N ₂₉₆ P ₉₅ K ₁₄₉
Контроль (без удобрения)	0

Выводы. Нами обоснованы дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность хлопчатника 3, 4, 5 и 6 т/га в зависимости от обеспеченности чернозема обыкновенного питательными элементами. Они варьировали от N₁₄₆P₄₄K₀ при урожайности 3 т/га до N₂₉₆P₉₅K₁₄₉ при урожайности 6 т/га с очень высокой обеспеченностью калием, высокой обеспеченностью фосфором и средней азотом в слое 0–40 см. Для изучения влияния минеральных удобрений на урожайность и качество хлопчатника необходимо проведение полевых исследований в почвенно-климатических условиях Ростовской области.

Список источников

1. Аширбеков М. Ж., Батъкаев Ж. Я. Агроэкологические аспекты применения органо-минеральных удобрений при возделывании хлопчатника на юге Казахстана // Успехи современной науки. 2017. Т. 1, № 9. С. 77–82.
2. Хайриддинов А. Б., Бобоноров Р. С., Хушмуродов Ж. П. Применение удобрений под хлопчатник // Символ науки: международный научный журнал. 2018. № 3. С. 27–29.
3. Особенности минерального питания хлопчатника на сероземных почвах / А. Д. Рахимов, Ф. Ш. Мирахмедов, Н. Н. Хатамова, А. Ш. Кодиров, М. З. Мамадалиев // Путь науки. 2017. № 3(37). С. 47–48.
4. Токарева Н. Д. Минеральные удобрения и продуктивность хлопчатника // Земледелие. 2010. № 7. С. 37–38.
5. Влияние удобрений и чеканки на распространенность болезней и семенную продуктивность хлопчатника в условиях каштановых почв / А. П. Глинушкин, И. Ю. Подковыров, Л. Л. Свиридова, Д. Ю. Ермак, Н. Н. Лысенко // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 83–87. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_83.
6. Хлопководство / А. И. Автономов [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1983. 334 с.
7. Смирнов П. М., Муравин Э. А. Агрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1977. 240 с.
8. Токарева Н. Д. Эффективность удобрений при выращивании хлопчатника в Астраханской области // Земледелие. 2013. № 7. С. 22–24.
9. Токарева Н. Д., Токарев Н. А. Особенности возделывания средневолокнистого хлопчатника в условиях юга России // Орошаемое земледелие. 2016. № 3. С. 11–12.
10. Умбетаев И., Тагаев А. Ресурсосберегающая технология орошения хлопчатника в условиях дефицита водных ресурсов // Наука и мир. 2015. № 3-2(19). С. 167–169.
11. Effect of fertilizer application on the 'Bukhara 102' variety of cotton yield in salt-affected cotton fields of Uzbekistan / S. Isaev, T. Rajabov, G. Goziev, A. Khojasov // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 258. 03015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125803015>.
12. Effect of plant spacings on growth, physiology, yield and fiber quality attributes of cotton genotypes under nitrogen fertilization / I. Zaman, M. Ali, K. Shahzad, M. S. Tahir, A. Matloob, W. Ahmad, S. Alamri, M. R. Khurshid, M. M. Qureshi, A. Wasaya, K. S. Baig, M. H. Siddiqui, S. Fahad, R. Datta // Agronomy. 2021. Vol. 11. 2589. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122589>.
13. Cotton cultivar response to potassium fertilizer application in Texas' southern high plains / N. Y. O. Kusi, K. L. Lewis, G. D. Morgan, G. L. Ritchie, S. K. Deb, R. D. Stevens, H. Y. Sintim // Agronomy Journal. 2021. Vol. 113. P. 5436–5453. <https://doi.org/10.1002/agj2.20807>.
14. Application of water-saving technologies for cotton irrigation in the Lower Volga region / E. A. Khodiakov, S. G. Milovanov, R. U. Popov, K. V. Bondarenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1010. 012101. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012101.
15. Растениеводство / П. П. Вавилов, В. В. Гриценко, В. С. Кузнецов, Н. Н. Третьяков, И. С. Шатилов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 512 с.
16. Каюмов М. К. Программирование продуктивности полевых культур. М.: Росагропромиздат, 1989. 368 с.
17. Расчет доз минеральных удобрений: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2018663750 / Васильев С. М., Бабичев А. Н., Монастырский В. А., Ольгаренко В. И., Гонзалез-Гальего М. Р., Нецепляев Д. А.; правообладатель Рос. науч.-

исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2018619426; заявл. 04.09.18; опубл. 02.11.18, Бюл. № 1.

References

1. Ashirbekov M.Zh., Batkaev Zh.Ya., 2017. *Agroekologicheskie aspekty primeneniya organo-mineral'nykh udobreniy pri vozdeleyvanii khlopchatnika na yuge Kazakhstana* [Agroecological aspects of organo-mineral fertilizers application in cotton-agricultural cultivation in the south of Kazakhstan]. *Uspekhi sovremennoy nauki* [Modern Science Success], vol. 1, no. 9, pp. 77-82. (In Russian).

2. Khairiddinov A.B., Bobonorov R.S., Khushmurodov Zh.P., 2018. *Primenenie udobreniy pod khlopchatnik* [Application of fertilizers for cotton]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal* [Symbol of Science: International Scientific Journal], no. 3, pp. 27-29. (In Russian).

3. Rakhimov A.D., Mirakhmedov F.Sh., Khatamova N.N., Kodirov A.Sh., Mamadaliyev M.Z., 2017. *Osobennosti mineral'nogo pitaniya khlopchatnika na serozemnykh pochvakh* [Peculiarities of mineral nutrition of cotton plant on sierozemic soils]. *Put' nauki* [The Way of Science], no. 3(37), pp. 47-48. (In Russian).

4. Tokareva N.D., 2010. *Mineral'nye udobreniya i produktivnost' khlopchatnika* [Mineral fertilizers and cotton productivity]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 7, pp. 37-38. (In Russian).

5. Glinushkin A.P., Podkovyrov I.Yu., Sviridova L.L., Ermak D.Yu., Lysenko N.N., 2022. *Vliyaniye udobreniy i chekanki na rasprostranennost' bolezney i semennuyu produktivnost' khlopchatnika v usloviyakh kashtanovykh pochv* [Influence of fertilizers and top removal on the disease distribution and seed productivity of cotton under conditions of chestnut soils]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex], vol. 36, no. 4, pp. 83-87, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_83. (In Russian).

6. Avtonomov A.I. [et al.], 1983. *Khlopkovodstvo* [Cotton Growing]. 2nd ed., rev., Moscow, Kolos Publ., 334 p. (In Russian).

7. Smirnov P.M., Muravin E.A., 1977. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. 2nd ed., rev., Moscow, Kolos Publ., 240 p. (In Russian).

8. Tokareva N.D., 2013. *Effektivnost' udobreniy pri vyrashchivanii khlopchatnika v Astrakhanskoy oblasti* [Efficiency of fertilizers in cotton growing in Astrakhan region]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 7, pp. 22-24. (In Russian).

9. Tokareva N.D., Tokarev N.A., 2016. *Osobennosti vozdeleyvaniya srednevoloknistogo khlopchatnika v usloviyakh yuga Rossii* [Peculiarities of medium staple cotton cultivation of in the conditions of the south of Russia]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 3, pp. 11-12. (In Russian).

10. Umbetaev I., Tagaev A., 2015. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya orosheniya khlopchatnika v usloviyakh defitsita vodnykh resursov* [Resource-saving technology of cotton irrigation in conditions of water resources deficit]. *Nauka i mir* [Science and World], no. 3-2(19), pp. 167-169. (In Russian).

11. Isaev S., Rajabov T., Goziev G., Khojasov A., 2021. Effect of fertilizer application on the 'Bukhara 102' variety of cotton yield in salt-affected cotton fields of Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, vol. 258, 03015, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125803015>.

12. Zaman I., Ali M., Shahzad K., Tahir M.S., Matloob A., Ahmad W., Alamri S., Khurshid M.R., Qureshi M.M., Wasaya A., Baig K.S., Siddiqui M.H., Fahad S., Datta R., 2021. Effect of plant spacings on growth, physiology, yield and fiber quality attributes of cotton genotypes under nitrogen fertilization. *Agronomy*, vol. 11, 2589, <https://doi.org/10.3390/agronomy11122589>.

13. Kusi N.Y.O., Lewis K.L., Morgan G.D., Ritchie G.L., Deb S.K., Stevens R.D., Sin-

tim H.Y., 2021. Cotton cultivar response to potassium fertilizer application in Texas' southern high plains. *Agronomy Journal*, vol. 113, pp. 5436-5453, <https://doi.org/10.1002/agj2.20807>.

14. Khodiakov E.A., Milovanov S.G., Popov R.U., Bondarenko K.V., 2022. Application of water-saving technologies for cotton irrigation in the Lower Volga region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1010, 012101, DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012101.

15. Vavilov P.P., Gritsenko V.V., Kuznetsov V.S., Tretyakov N.N., Shatilov I.S., 1986. *Rastenievodstvo* [Plant Growing]. 5th ed., rev., Moscow, Agropromizdat Publ., 512 p. (In Russian).

16. Kayumov M.K., 1989. *Programmirovanie produktivnosti polevykh kul'tur* [Programming the Productivity of Field Crops]. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 368 p. (In Russian).

17. Vasiliev S.M., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.I., Gonzalez-Gallego M.R., Netseplyaev D.A., 2018. *Raschet doz mineral'nykh udobreniy* [Calculating Mineral Fertilizers Doses]. Certificate of State Registration of Computer Software, no. 2018663750. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

Ю. И. Недоцукова – аспирант, младший научный сотрудник.

Information about the authors

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

J. I. Nedotsukova – Postgraduate Student, Junior Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 09.11.2022; принята к публикации 15.11.2022.

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 09.11.2022; accepted for publication 15.11.2022.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

AGRICULTURAL PRODUCTION

Научная статья

УДК 628.3:631.67

Альтернативные источники воды для орошения кормовых культур в Ростовской области

Нина Михайловна Макарова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, n_gak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4347-8253>

Аннотация. **Цель:** провести изучение очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод для использования их на орошение кормовых культур в условиях Ростовской области. **Материалы и методы.** В аккредитованной лаборатории Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации определяли основные качественные и количественные показатели хозяйственно-бытовых сточных вод. Прогнозировали влияние хозяйственно-бытовых сточных вод на различные виды растений, орошаемые почвы и сельскохозяйственную продукцию с целью разработки рекомендаций по безопасному использованию их в агропромышленном комплексе. **Результаты.** В результате исследований выяснили, что угнетающего и особого стимулирующего эффекта на люцерну посевную сточные воды по варианту опыта № 2 не оказывают. Однако по вариантам № 3 и 4 наблюдали ингибирующий эффект. Установили, что существенного влияния на энергию прорастания семян опытные образцы № 2 (сточная вода после биологической очистки) и № 3 (природная вода) не оказывали, снижение ее было всего лишь на 3 %, однако в варианте № 4 с неочищенными хозяйственно-бытовыми сточными водами наблюдалось существенное снижение энергии прорастания более чем в 2 раза по сравнению с контролем, это говорит о токсичном воздействии воды на семена испытуемой культуры. **Выводы.** Сточные воды ООО «Кадамовские очистные сооружения» г. Новочеркаска после этапов биологической очистки вполне пригодны для выращивания люцерны посевной, так как богаты питательными элементами, которые частично или полностью обеспечивают потребность данной культуры. Однако нестабильный состав сточных вод во времени приводит к необходимости постоянного контроля качества сточных вод, особенно щелочности.

Ключевые слова: люцерна, орошение, сточные воды, биотестирование

Original article

Alternative water sources for fodder crops irrigation in Rostov region

Nina M. Makarova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, n_gak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4347-8253>

Abstract. Purpose: to conduct a study of treated domestic sewage for their use in fodder crop irrigation in Rostov region. **Materials and methods.** The main qualitative and quantitative indicators of domestic sewage were determined in an accredited laboratory of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. The impact of domestic sewage on various types of plants, irrigated soils and agricultural products in order to develop recommen-

dations for their safe use in the agro-industrial complex were predicted. **Results.** As a result of the research, it was found that sewage does not have a depressing and special stimulating effect on creeping alfalfa according to the experiment variant no. 2. However, according to options no. 3 and 4, an inhibitory effect was observed. It was found that experimental samples no. 2 (sewage water after biological treatment) and no. 3 (natural water) did not have a significant impact on the energy of seed germination; its decrease was only 3 %. However, in variant no. 4 with untreated sewage, a significant decrease in germination energy by more than 2 times was observed, compared to the control, which indicates the toxic impact of water on the seeds of the test crop. **Conclusions.** Sewage of LLC “Kadamovskiy treatment facilities” in Novocherkassk after the stages of biological treatment are quite suitable for growing alfalfa creeping, as they are rich in nutrients that will meet the needs of this crop partially or completely. However, the unstable composition of sewage over time leads to the need for constant monitoring of sewage quality, especially alkalinity.

Keywords: alfalfa, irrigation, sewage, biotesting

Введение. Водохозяйственный комплекс Ростовской области испытывает дефицит водных ресурсов. Так, орошаемые площади на сегодняшний день сократились почти в 2 раза (231 тыс. га против 420 тыс. га) по причине маловодности главной водной артерии – р. Дон [1]. Естественно, это приведет к повышению стоимости воды, а следовательно, и удорожанию сельскохозяйственной продукции. Фермерские хозяйства вынужденно переходят на дорогостоящее капельное орошение или меняют состав выращиваемых культур. Взят курс на увеличение производства отечественного мяса, что потребует дополнительных ресурсов для выращивания кормов, в частности, орошаемых площадей и оросительной воды.

При подборе сельскохозяйственных культур, технологии их выращивания и использования следует руководствоваться требованиями зональных систем земледелия Ростовской области [2] и рекомендациями сельскохозяйственных научно-исследовательских учреждений и ученых [3–5] с учетом конкретных направлений сельскохозяйственного производства, требований ГОСТ Р 58331.3-2019 [6].

Материалы и методы. Использованы материалы литературных источников, сети Интернет и собственных изысканий. В исследовании применялись теоретические и эмпирические (наблюдение, измерение, эксперимент) методы. Отбор образцов воды проводили на территории ООО «Кадамовские очистные сооружения». Опыты заложены в 2022 г. в ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»). Исследования проводили в аккредитованной лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ», где анализировали образцы отобранных сточных вод, а также использовали результаты химических анализов сточных вод, лабораторный метод биотестирования семян с применением термостата, статистические анализы, графо-аналитический метод. Объектом исследований явилась относящаяся к бобовым травам люцерна синяя (*Medicago sativa* L. subsp. *sativa*). В опытах использован сорт отечественной селекции Краснодарская ранняя, обладающий широкой адаптивностью к природно-климатическим условиям.

Результаты и обсуждение. Люцерна является одной из немногих универсальных культур, дающих высокие урожаи. Культура не требует больших энергетических затрат на выращивание, долговечна, засухоустойчива и ко всему прочему улучшает качество почвы и ее свойства. Люцерна входит в состав многих выращиваемых при орошении травосмесей в засушливых зонах России. Урожайность сена люцерны некоторых сортов при орошении повышается до 15–16 т/га сухой массы при обычной урожайности 4–6 т/га, урожай семян люцерны в среднем 150–200 кг/га, а максимально до 500–800 кг/га и даже 1200 кг/га. Ввиду особенностей выращивания люцерны исполь-

зуются на зеленый корм, сено, сенаж, силос, а также для приготовления высокобелковых кормов в виде люцерновой муки, полнорационных брикетов и т. д. В 1 кг сухого вещества содержится 0,65–0,95 к. е., причем переваримого протеина – 160–230 г/1 к. е. Кроме того, люцерна имеет большое агротехническое значение, обогащая почву органическим веществом, симбиотическим азотом и улучшая ее структуру. В корнях и пожнивных остатках люцерны при урожае 6–8 т/га накапливается 90–100 кг/га азота. По рекомендациям Ю. М. Писковацкого и др. [3] одной из лучших кормовых культур является люцерна посевная (*Medicago sativa* L.). Люцерна имеет мощную корневую систему (развивается в первый год), куст прямостоячий. Предпочитает черноземные, суглинистые и супесчаные почвы. Не переносит кислых, склонных к заболачиванию и засолению почв. Хорошо отрастает весной и после укосов. Возделывается в основном в южных районах России [3].

Однако в условиях засушливого климата Ростовской области выращивание этой культуры сопряжено с рисками потери или недобора урожая. В сухие годы урожай сена может снижаться до 1,5–2,0 т/га. Оптимальная влажность почвы при выращивании фуражной люцерны – 80 % наименьшей влагоемкости. В связи с этим очевидна необходимость применения орошения при выращивании люцерны для обеспечения ее достаточным количеством влаги. Кроме того, люцерна – прекрасный предшественник для яровой твердой пшеницы, риса, проса и особенно хлопчатника (тем более что в настоящее время выведен новый сорт, рекомендованный к выращиванию в Волгоградской области, ведутся работы по адаптации его в условиях Ростовской области), а также других культур.

Корни и проростки высших растений обладают высокой чувствительностью к изменяющимся условиям среды. Особенно наглядно это проявляется на первой неделе прорастания. Такое свойство используется в биотестировании различных экологических сред, в частности для оценки качества различных вод для полива.

Оценка пригодности хозяйственно-бытовых сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур проводилась по модифицированной методике биотестирования [7, 8]. В методике рекомендовано проводить биотест на семенах горчицы белой (*Sinapis alba* L.) или редиса красного круглого с белым кончиком. Биотест на семенах *Sinapis alba* L. показал, что по этим методикам тест на проращивание семян можно провести и для других растений, в первую очередь тех, которые планируется выращивать при орошении. В нашем случае это люцерна синяя (рекомендована к выращиванию в Ростовской области Государственным реестром селекционных достижений, допущенных к использованию¹).

С целью выяснения особенностей роста и развития (скорости прорастания семян и их всхожести) люцерны посевной проводилось четыре серии опытов с пробами хозяйственно-бытовой сточной воды различной стадии очистки (механической и биологической), природной воды, отобранной из р. Дон, для контрольного образца использовалась дистиллированная вода. Каждая серия опытов имела 4-кратную повторяемость. Все полученные данные статистически обрабатывались.

Исследования проводили с образцами хозяйственно-бытовых сточных вод и природной воды: образец № 2 – хозяйственно-бытовые сточные воды после биологической очистки; образец № 3 – природная вода р. Дон; образец № 4 – хозяйственно-бытовые сточные воды после механической очистки. В таблице 1 приведены средние значения для проб № 2 и 4 за период с 14.02.2022 по 04.07.2022.

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений: офиц. изд. М.: Росинформагротех, 2022. 646 с.

Основные характеристики исследуемых вод приведены нами в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика природных и сточных вод разной степени очистки

Table 1 – Characteristics of natural and sewage waters of various degrees of purification

Название вещества	ПДК _{р.х.} *	Образец испытуемой воды (номер пробы)		
		вариант 2	вариант 3	вариант 4
ХПК, мг/дм ³	15–30	37,50	24,81	209,49
БПК _{пол.} ** , мг О ₂ /дм ³	3,0	9,17	–	134,31
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	2,1	6,41	< 1	93,92
Растворенный кислород, мг/дм ³	> 6,0	8,35	2,61	4,2
Сухой остаток, мг/дм ³	–	1484,5	844	1385,25
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	40	0,55	1,85	91,36
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,08	0,14	< 0,02	0,22
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0,5	0,59	0,14	33,17
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	–	225,38	–	477,36
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	100	473,24	267,46	465,44
Cl ⁻ , мг/дм ³	300	261,63	123,83	230,44
PO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	0,2	7,00	0,33	7,06
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	0,12	< 0,05	0,805
Cu ²⁺ , мг/дм ³	0,001	< 0,1	< 0,01	< 0,1
Zn ²⁺ , мг/дм ³	1,0	< 0,04	< 0,004	0,07
Na ⁺ , мг/дм ³	120	189,43	–	255,65
Mg ²⁺ , мг/дм ³	40	58,12	< 0,005	58,02
Ca ²⁺ , мг/дм ³	180	134,86	–	147,74
K ⁺ , мг/дм ³	50	16,00	–	22,34
Жесткость общая, ммоль/дм ³	–	11,55	0,20	12,01
Минерализация, г/дм ³	–	1,340	< 1	1,766
Водородный показатель, ед. рН***	–	7,8	7,8	7,9

Примечания

* – ПДК_{р.х.} взята согласно приказу Минсельхоза России от 13.12.2016 № 522 (редакция от 10.03.2020) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

** – БПК_{пол.} = БПК₅ · 1,43.

*** – результаты определения рН приведены на момент лабораторных испытаний.

Анализ усредненных значений воды по вариантам опыта показал, что в образцах воды № 2 и 4 многие показатели превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. Так, в образцах воды № 4 и 2 превышены в разы следующие показатели: натрий в 2,1 и 1,58, магний в 1,5 и 1,5, фосфаты в 35,3 и 35,0, сульфаты в 4,7 и 4,7, нефтепродукты в 16,1 раза соответственно, в обоих образцах большие количества взвешенных веществ (1385 и 1484 мг/дм³ соответственно). В воде № 4 очень высокие показатели, превышающие ПДК: азот нитратов в 2,3, азот нитритов в 2,8, аммиачный азот в 66,3, ХПК в 7, БПК в 44 раза, в образце воды № 2 эти показатели в норме, меньше или несущу-

шественно превышают ПДК. Образец воды № 3 отличался низкими показателями определяемых веществ, кроме: сульфатов в 2,7, фосфатов в 1,65 и меди в 10 раз.

По степени минерализации все воды можно отнести к слабоминерализованным (количество солей от 1 до 3,0 г/дм³).

Большое количество патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов в образце № 4 указывает на недопустимость данного типа воды для поверхностного орошения.

При проведении биотестирования в стерильные чашки Петри (стерилизованные в автоклаве) диаметром 10 см укладывали равномерно на увлажненную фильтровальную бумагу по 30 шт. семян люцерны посевной. Для увлажнения фильтровальной бумаги в каждую чашку Петри отдельно по вариантам опыта наливали по 5 мл сточных вод исследуемых образцов, природной и дистиллированной воды для контрольной пробы. Уровень жидкости в чашках был ниже поверхности семян. В каждой чашке, таким образом, создавалась необходимая влажность среды для проращивания растений.

Контрольный образец обрабатывался дистиллированной водой и служил эталоном для сравнительной оценки образцов хозяйственно-бытовых сточных вод и природной воды ввиду отсутствия примесей и загрязняющих веществ, способных выступать ингибиторами или катализаторами роста.

В последующем чашки Петри, накрытые крышками, помещали в термостат в темноту при температуре 20 °С для дальнейшего проращивания. Эксперимент возможен в комнатных условиях, однако из-за колебаний температуры затрудняется сопоставление результатов, проводимых в различное время. Биотестирование заканчивали через 72 ч. На 4-е сутки после начала эксперимента чашки Петри с образцами открывали, подсчитывали количество проросших семян в течение 1 ч и измеряли длину корней, исключая из ряда данных пять наименьших значений, в т. ч. и непроросшие семена.

С учетом положений НТП-АПК 1.30.03.02-06 [7] и ГОСТ 12038-84 [8], если семена сельскохозяйственных культур вообще не проросли или длина их корней составит менее 70 % (по отношению к контролю), сточную воду возможно использовать с учетом ограничений или с определенным разбавлением. Порог 70 % обосновывается тем, что почва, благодаря сорбционной способности, снижает ингибирующее воздействие исследуемой воды. Если длина корней в опыте свыше 120 % от контроля, то предполагается, что сточная вода обладает стимулирующими свойствами.

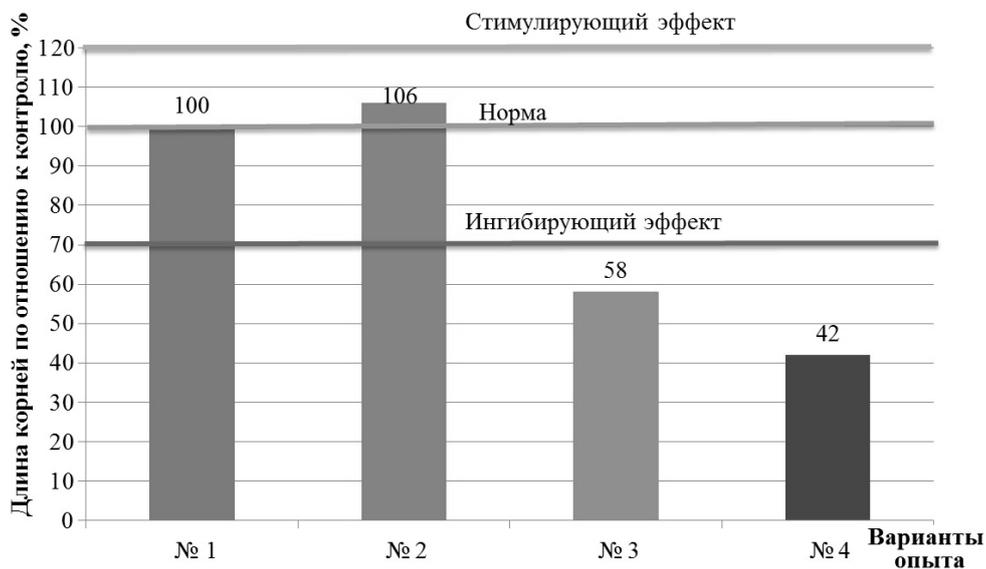
Показатели, полученные в результате биотестирования для оценки пригодности оросительной воды, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения длины проросших корней на 4-е сутки

Table 2 – The results of measuring the length of germinated roots on the 4th day

Показатель	Вариант			
	контроль (№ 1)	сточная вода с биологической очисткой (№ 2)	вода природная (№ 3)	сточная вода с механической очисткой (№ 4)
Среднее количество проросших семян, шт.	16	15	15	8
Среднее значение длины корня, мм	0,31	0,33	0,18	0,13
Максимальная длина корней, мм	1,5	1,9	1,0	1,6
Минимальная длина корней, мм	0,2	0,2	0,2	0,2
% к длине корней контроля	100	106	58	42

На основе результатов биотестирования для оценки влияния различных образцов воды на рост люцерны посевной можно сделать вывод о том, что сточная вода после биологической очистки не оказывала токсического воздействия на интенсивность роста корней семян люцерны посевной, в этом варианте превышено соответствующее значение контрольного образца на 6 %, ингибирующий эффект наблюдался у образцов № 3 и 4 (58 и 42 % соответственно) (рисунок 1).



№ 1 – контроль; № 2 – хозяйственно-бытовые сточные воды после биологической очистки; № 3 – вода природная; № 4 – хозяйственно-бытовые сточные воды после механической очистки

Рисунок 1 – Результаты биотестирования, заключающегося в проращивании семян люцерны посевной (процент длины корней проросших семян по вариантам опыта к длине контрольного образца)

Figure 1 – The results of biotesting, which consists in the germination of creeping alfalfa seeds (percentage of the length of germinated seeds roots to the length of the control sample according to the experiment variants)

Семена в исследуемой сточной воде № 2 (после биологической очистки) проросли, а длина их корней в процентах от контроля выше 70 %, следовательно, вода пригодна для орошения. Особого стимулирующего эффекта на рост семян люцерны вода не оказывает. Скорее всего, это связано с обедненным составом воды. Известно, что для эффективного роста люцерне требуется большое количество азотистых веществ, изучаемая бобовая культура требовательна к условиям питания и с ростом количества питательных веществ увеличивает корневую массу [9]. «Люцерна требовательна к фосфорному и калийному питанию. Недостаток фосфора приводит к снижению количества фиксированного азота воздуха, что неблагоприятно сказывается на урожае. При дефиците калия в растениях происходит снижение площади листьев, накопления сухого вещества и белка» [10]. Кроме того, именно на развитие семян немаловажное влияние оказывает медь, которая содержится в образцах обеих сточных вод и в природной воде в избытке и может оказывать токсическое воздействие. Разница в динамике роста корней в образце № 4 может быть обусловлена превышением ПДК_{р.х.} по нефтепродуктам в 16,1 раза. Кроме того, люцерна требовательна к pH среды (оптимально для нее 7,5 и выше). Именно калий выполняет функцию нейтрализации отрицательно заряженных компонентов клетки и создает разность электрических потенциалов между средой и клеткой. Природная вода образца № 3 бедна жизненно важными элементами, в т. ч. ка-

лием, который играет огромную роль в транспорте азотистых веществ, что нарушает белковый и углеводный обмен. Особенно проявляется его дефицит при избытке азотистых веществ. Снижается всхожесть и жизнеспособность семян [11]. Большое количество нефтепродуктов в пробе № 4, по всей вероятности, негативно отражается на люцерне. По данным Е. В. Кузиной и др., токсическое действие нефти в первую очередь сказывается на скорости роста побегов и вызывает его замедление [12].

Еще одним немаловажным и характерным показателем оценки проростков в технологии определения посевных качеств семян является энергия прорастания, определяемая для люцерны в течение 4 сут согласно ГОСТ 12038-84. Энергия прорастания – это способность семян к дружному прорастанию, определяемая процентом нормально проросших за определенное время семян, более короткое, чем установлено для каждой культуры. Тест позволяет выявить влияние различных стрессоров на растения в ранней стадии их развития. Энергию прорастания вычисляли как среднеарифметическое из количества проросших семян в пробах и выражали в процентах. Результат записывали в целых числах, отбрасывая доли менее 0,5 % и округляя до единицы доли, равные 0,5 % и более. К нормально проросшим семенам люцерны, прорастающей одним корешком, относили растения, у которых имеется корешок размером больше длины семени и росток. Загнившие, травмированные и аномально развитые, со слабыми или поврежденными побегами и корнями проростки относили к непроросшим семенам. В итоге опыта и расчетов получили следующие показатели по образцам: № 1 – 53, № 2 – 50, № 3 – 50, № 4 – 27 %.

В результате лабораторных исследований установили, что существенного влияния на энергию прорастания семян образцы варианта № 2 (сточная вода после биологической очистки) и № 3 (природная вода) не оказывали, снижение ее было всего лишь на 3 %, однако в варианте № 4 с хозяйственно-бытовыми сточными водами, прошедшими механическую очистку, наблюдалось существенное снижение энергии прорастания (почти в 2 раза) по сравнению с контролем, это говорит об их токсичном воздействии на семена испытываемой культуры.

Выводы. Сточные воды Кадамовских очистных сооружений г. Новочеркаска после биологической очистки вполне пригодны для выращивания люцерны посевной, что подтверждается биотестированием. Они богаты питательными элементами и после тщательной проработки рекомендаций могут быть использованы для орошения сельскохозяйственных культур. Из-за нестабильности содержания веществ в воде по времени необходим постоянный контроль за их составом, особенное внимание нужно уделять щелочному составу этих вод, а также регулировать концентрацию солей с помощью разбавления. Кроме того, периодически необходимо контролировать качество орошаемых почв.

Список источников

1. Поздняк Ю. Из-за маловодья в Ростовской области почти вдвое сократилась площадь орошаемых полей [Электронный ресурс]. 2021, 28 окт. URL: https://www.donnews.ru/iz-za-malovodya-v-rostovskoy-oblasti-pochti-vidvoe-sokratilas-ploschad-oroshaemyh-poley_10570325 (дата обращения: 01.10.2022).
2. Зональные системы земледелия Ростовской области 2022–2026 гг. / подгот. А. И. Клименко [и др.]. Ростов н/Д.: Кн. изд-во, 2022. 734 с.
3. Агротехника возделывания сортов люцерны селекции ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса на семенные и кормовые цели (рекомендации) / Ю. М. Писковацкий, В. М. Косолапов, В. Е. Михалев, Г. В. Степанова, Н. И. Переpravо, Л. Ф. Соложенцева, М. Г. Ломова. М.: РЦСК, 2008. 39 с.

4. Рекомендации по технологии возделывания люцерны на орошаемых землях Ростовской области / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, А. Н. Бабичев, Л. М. Докучаева, В. А. Монастырский, С. А. Селицкий, А. А. Бабенко. Новочеркасск, 2021. 15 с.

5. Кормовые конвейеры для высокопродуктивного крупного рогатого скота на орошаемых землях юга России: науч. обзор / Г. Т. Балакай, С. А. Селицкий, О. В. Егорова, А. И. Литовченко, М. И. Рычкова. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. 100 с.

6. ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. Введ. 2019-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.

7. Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием сточных вод: НТП-АПК 1.30.03.02-06: утв. М-вом сел. хоз-ва и продовольствия Рос. Федерации 01.01.07: введ. в действие с 01.01.07. М.: Росинформагротех, 2007. 53 с.

8. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Введ. 1986-07-01. М.: Стандартинформ, 2011. 64 с.

9. Боровик А. А., Радовня В. А., Аляпкин А. В. Влияние удобрений на вынос с урожаем элементов питания и накопление в почве корневой массы галеги восточной // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 1(46). С. 259–265.

10. Особенности возделывания люцерны посевной на минеральных почвах / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут, Д. А. Постникова // Мелиорация. 2020. № 1(91). С. 44–55.

11. Агрохимикаты // Пестициды.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pesticidy.ru/agrochemicals> (дата обращения: 01.10.2022).

12. Эффективность ассоциаций растений семейства бобовых и ростстимулирующих бактерий для восстановления нефтезагрязненных почв / Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафилова, Е. А. Столярова, О. Н. Логинов // Агрохимия. 2021. № 4. С. 87–96. DOI: 10.31857/S0002188121040074.

References

1. Pozdnyak Yu., 2021. *Iz-za malovod'ya v Rostovskoy oblasti pochti vdvoe sokratilas' ploshchad' oroshaemykh poley* [The area of irrigated fields has almost halved because of the lack of water in Rostov region]. Oct. 28, available: https://www.donnews.ru/iz-za-malovodya-v-rostovskoy-oblasti-pochti-vdvoe-sokratilas-ploshchad-oroshaemykh-poley_10570325 [accessed 01.10.2022]. (In Russian).

2. Klimenko A.I. [et al.], 2022. *Zonalnye sistemy zemledeliya Rostovskoy oblasti 2022–2026 gg.* [Zonal Farming Systems of Rostov Region 2022–2026]. Rostov-on-Don, Book Publ., 734 p. (In Russian).

3. Piskovatsky Yu.M., Kosolapov V.M., Mikhalev V.E., Stepanova G.V., Perepravo N.I., Solozhentseva L.F., Lomova M.G., 2008. *Arotekhniko vozdeleyvaniya sortov lyutserny sel'ektsii VNIИ kormov im. V. R. Vil'yamsa na semennyye i kormovyye tseli (rekomentatsii)* [Agrotechnics of alfalfa variety cultivation for seed and fodder purposes of VNIИ of Fodders named after V. R. Williams (recommendations)]. Moscow, RTsSK, 39 p. (In Russian).

4. Masny R.S., Balakay G.T., Babichev A.N., Dokuchaev L.M., Monastyrsky V.A., Selitsky S.A., Babenko A.A. 2021. *Rekomendatsii po tekhnologii vozdeleyvaniya lyutserny na oroshaemykh zemlyakh Rostovskoy oblasti* [Recommendations on Alfalfa Cultivation Technology on Irrigated Lands in Rostov Region]. Novocheerkassk, 15 p. (In Russian).

5. Balakay G.T., Selitsky S.A., Egorova O.V., Litovchenko A.I., Rychkova M.I., 2012. *Kormovyye konveyery dlya vysokoproduktivnogo krupnogo rogatogo skota na oroshayemykh zemlyakh yuga Rossii: nauch. obzor* [Feed Conveyors for Highly Productive Cattle on Irrigated Lands in the South of Russia: scientific review]. Novocheerkassk, RosNIIPM, 100 p. (In Russian).

6. GOST R 58331.3-2019. *Sistemy i sooruzheniya meliorativnye. Vodopotrebnost' dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Obshchie trebovaniya* [Reclamation systems and structures. Water demand for irrigation of agricultural crops. General requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. (In Russian).

7. NTP-APK 1.30.03.02-06. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya orositel'nykh sistem s ispol'zovaniem stochnykh vod* [Standards for technological design of irrigation systems using wastewater]. Moscow, Rosinformagrotekh, 2007, 53 p. (In Russian).

8. GOST 12038-84. *Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti* [Seeds of agricultural crops. Germination methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. (In Russian).

9. Borovik A.A., Radovnya V.A., Alyapkin A.V., 2011. *Vliyanie udobreniy na vynos s urozhajem elementov pitaniya i nakoplenie v pochve kornevoy massy galegi vostochnoy* [Influence of fertilizers on carrying out of nutrients and root residual accumulation in soil of *galega orientalis*]. *Pochvovedenie i agrokimiya* [Soil Science and Agrochemistry], no. 1(46), pp. 259-265. (In Russian).

10. Tivo P.F., Saskevich L.A., But E.A., Postnikova D.A., 2020. *Osobennosti vozde-lyvaniya lyutserny posevnoy na mineral'nykh pochvakh* [Features of cultivation of alfalfa sowing on mineral soils]. *Melioratsiya* [Land Reclamation], no. 1(91), pp. 44-55. (In Russian).

11. *Agrokhimikaty* [Agrochemicals]. *Pestitsidy.ru* [Pesticides.ru], available: <https://www.pesticity.ru/agrochemicals> [accessed 01.10.2022]. (In Russian).

12. Kuzina E.V., Rafikova G.F., Stolyarova E.A., Loginov O.N., 2021. *Effektivnost' assotsiatsiy rasteniy semeystva bobovykh i roststimuliruyushchikh bakteriy dlya voss-tanovleniya neftezagryaznennykh pochv* [Efficiency of associations of legume plants and growth-stimulating bacteria restoration of oil-contaminated soils]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], no. 4, pp. 87-96, DOI: 10.31857/S0002188121040074. (In Russian).

Информация об авторе

Н. М. Макарова – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the author

N. M. Makarova – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.10.2022; одобрена после рецензирования 24.11.2022; принята к публикации 28.11.2022.

The article was submitted 19.10.2022; approved after reviewing 24.11.2022; accepted for publication 28.11.2022.