

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Научная статья

УДК 626.862:631.6.02

doi: 10.31774/2658-7890-2022-4-4-43-55

Эколого-экономическое обоснование эффективности охраны водных ресурсов на основе рециклинга дренажно-сбросных вод

Михаил Вячеславович Власов¹, Светлана Вячеславовна Куприянова²

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

¹m_vlasov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9103-1958>

²schedrikova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8556-8823>

Аннотация. Цель: разработка математического аппарата, позволяющего рассчитать как величину возможного увеличения поливной площади, обусловленную рециклингом дренажно-сбросных вод, так и размер экономии природной воды при условии неизменности площади орошения, а также определение возможной ежегодной дополнительной прибыли от рециклинга дренажно-сбросных вод на оросительных системах. **Материалы и методы.** Теоретическая и методологическая основа настоящего исследования – положения, представленные в работах российских ученых. При исследовании использован системный анализ и в его результате балансовый метод, ключевым фактором которого является соблюдение годичного солевого баланса почв при орошении, совместно с различными вариантами рециклинга дренажно-сбросных вод. **Результаты.** Для достижения цели исследований проведено: моделирование определения предельно допустимой минерализации дренажно-сбросных вод, пригодных для орошения; моделирование рециклинга дренажно-сбросных вод без разбавления и с последовательным их разбавлением; моделирование оборотного использования дренажно-сбросных вод. В результате проведенных исследований для варианта рециклинга дренажно-сбросных вод с последовательным их разбавлением выявлена возможность получения ежегодной дополнительной прибыли от рециклинга таких вод на оросительных системах в условиях недостаточной водообеспеченности, которая будет составлять порядка 18 %, дисконтированный срок окупаемости модернизации оросительной системы составит порядка 6 лет. **Вывод.** Рециклинг дренажно-сбросных вод при орошении является перспективным направлением для увеличения водообеспеченности и повышения эффективности охраны водных ресурсов. С помощью полученных соотношений могут быть решены задачи оптимального с учетом наличия природных вод и рециклинга дренажно-сбросных вод распределения воды между орошаемыми участками и определения их площадей.

Ключевые слова: дренажно-сбросные воды, рециклинг дренажно-сбросных вод для орошения, моделирование рециклинга дренажно-сбросных вод, оросительные системы, экономическая эффективность

Для цитирования: Власов М. В., Куприянова С. В. Эколого-экономическое обоснование эффективности охраны водных ресурсов на основе рециклинга дренажно-сбросных вод // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 4. С. 43–55. <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-43-55>.

WATER SUPPLY, SEWAGE, CONSTRUCTION SYSTEMS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Original article

Ecological and economic justification of water resources protection efficiency based on the drainage and waste water recycling

Mikhail V. Vlasov¹, Svetlana V. Kupriyanova²

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

¹m_vlasov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9103-1958>

²shedrikova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8556-8823>

Abstract. The purpose is the development of a mathematical apparatus that makes it possible to calculate both the amount of possible increase in the irrigated area due to the recycling of drainage and waste water, and the amount of natural water savings provided that the irrigation area remains unchanged, as well as determining the possible annual additional profit from the recycling of drainage and waste water on irrigation systems. **Materials and methods.** The systematic analysis and, as a result, a balance method, the key factor of which is the observance of the annual soil salt balance during irrigation are used, together with various options for recycling drainage and waste water. **Results.** To achieve the research goal, the following was carried out: modeling the determination of the maximum allowable salinity of drainage and waste water suitable for irrigation; modeling of drainage and waste water recycling without dilution and with their successive dilution; modeling of drainage and waste waters recycling. As a result of the studies carried out for the option of drainage and waste water recycling with their successive dilution, the possibility of obtaining an annual additional profit from the recycling of such water in irrigation systems under conditions of insufficient water supply, which will be about 18 %, is revealed; the payback period for modernization of the irrigation system will be about 6 years. **Conclusion.** Recycling of drainage and waste water during irrigation is a promising direction for increasing water supply and improving the efficiency of water resources protection. With the help of the ratios obtained, the issues of optimal water distribution between irrigated plots and determination of their areas can be solved, taking into account the availability of natural waters and drainage and waste water recycling.

Keywords: drainage and waste water, drainage and waste water recycling for irrigation, drainage and waste water recycling modeling, irrigation systems, economic effectiveness

For citation: Vlasov M. V., Kupriyanova S. V. Ecological and economic justification of water resources protection efficiency based on the drainage and waste water recycling. *Ecology and Water Management*. 2022;4(4):43–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-43-55>.

Введение. В настоящее время в России у достаточно большого количества сельхозтоваропроизводителей наблюдаются проблемы с водоснабжением вследствие недостаточного количества водных ресурсов, поэтому для них большое значение имеет применение современных технологий водосбережения. Вместе с тем потери воды при орошении, по разным оценкам, составляют 25–60 % водозабора и являются серьезной причиной обострения экологической ситуации. Поэтому рециклинг дренажно-сбросных вод (ДСВ) на оросительных системах может исключить появление, а также способствовать

решению проблем, перманентно возникающих при сельскохозяйственном производстве в регионах с ограниченным запасом водных ресурсов.

Проектирование и строительство современных оросительных систем делает возможным соединение сбросной и коллекторно-дренажной сетей¹, что приводит к формированию зачастую нуждающихся в очистке ДСВ [1, 2]. ДСВ имеют следующие свойства [3, 4]:

- образуются на участках площадью от нескольких десятков до нескольких тысяч гектаров;

- характеризуются широкой вариабельностью по объемам стока, температуре, а также качественным показателям, включая загрязняющие вещества.

Качество и объем ДСВ определяются [3–7]:

- параметрами дренируемых почвогрунтов и подземных вод, в т. ч. их фоновым загрязнением;

- погодными условиями;

- технологией производства сельхозпродукции на мелиорируемых землях;

- качественными показателями оросительной воды.

Вместе с тем для получения достоверной оценки эффективности рециклинга ДСВ необходимо не только установить их объем и качественный состав, но и учесть минерализацию поливной воды, степень и характер засоления почв, провести исследование технического потенциала применения ДСВ для орошения.

Материалы и методы. Теоретическая и методологическая основа настоящего исследования – положения, представленные в работах Ю. С. Исаева [8], В. А. Ковды [9], В. Н. Щедрина, А. С. Капустяна [10], Х. Фудзимаки [2] и многих других. При исследовании использован системный анализ и в его

¹СТО НОСТРОЙ 2.33.21-2011. Мелиоративные системы и сооружения. Ч. 2. Осушительные системы. Общие требования по проектированию и строительству [Электронный ресурс]. Введ. 2011-12-05. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

результате балансовый метод, ключевым фактором которого является соблюдение годичного солевого баланса почв при орошении, совместно с различными вариантами рециклинга ДСВ.

Результаты и обсуждение. Построим математическую модель, позволяющую установить предельно допустимую минерализацию ДСВ, которые могут быть задействованы при орошении, основанную на балансовом методе, опубликованном в работах Ю. С. Исаева и В. А. Ковды [6–9], ключевым фактором его является годичный солевой баланс почв:

$$\pm \Delta S = S_{\text{к}} - S_{\text{н}},$$

где $\pm \Delta S$ – приращение содержания солей в исследуемом слое почвы за год, т/га;

$S_{\text{к}}$ – конечное содержание солей в исследуемом слое почвы, т/га;

$S_{\text{н}}$ – начальное содержание солей в исследуемом слое почвы, т/га.

На приращение содержания солей в исследуемом слое почвы за год влияет соотношение засоления за период орошения и рассоления в остальное время. Приращение содержания солей за период орошения в исследуемом слое почвы может быть рассчитано из соотношения:

$$S' = S_{\text{ор}} + S_{\text{гр}} - S_{\text{р}}, \quad (1)$$

где S' – приращение содержания солей за период орошения, т/га;

$S_{\text{ор}}$ – удельная масса солей, доставленная поливной водой, т/га;

$S_{\text{гр}}$ – удельная масса солей, доставленная грунтовыми водами, т/га;

$S_{\text{р}}$ – удельная масса солей, вынесенная сельскохозяйственными культурами, т/га.

Рассоление в осенне-весенний период определяется разностью между содержанием солей в почве осенью рассматриваемого года и весной года, следующего за ним. Эта разность, как отмечают в своих работах специалисты ФГБНУ «РосНИИПМ» [10, 11], прямо коррелирует с осенним содержанием солей в почве, что позволяет выразить ее следующим образом:

$$P_c = f(S_{oc}), \quad (2)$$

где P_c – показатель сезонного выноса солей, т/га;

f – знак функции;

S_{oc} – удельная масса солей в исследуемом слое почвы, т/га.

Необходимым условием устойчивости удельной массы солей в исследуемом слое почвы при орошении ДСВ является равенство нулю приращения содержания солей, т. е.:

$$\pm \Delta S = 0.$$

Оно достигается при равенстве выражений (1) и (2). Подставив в эти выражения значения сезонного засоления и рассоления, получим равенство:

$$\frac{M \cdot C}{1000} + \frac{M_{гр} \cdot C_{гр}}{1000} - S_p = h \cdot V \cdot \beta \cdot S_{oc},$$

где M – оросительная норма, м³/га;

C – минерализация оросительной воды, г/см³;

1000 – коэффициент для перевода в т/га;

$M_{гр}$ – удельный объем испарившихся грунтовых вод, м³/га;

$C_{гр}$ – минерализация грунтовых вод, г/см³;

h – глубина исследуемого слоя почвы, дм;

V – объемная масса исследуемого слоя почвы, г/дм³;

β – коэффициент корреляции между величинами P_c и S_{oc} .

После несложных преобразований получим выражение, определяющее предельно допустимую минерализацию ДСВ, пригодных для орошения:

$$C_{max} = \frac{(h \cdot V \cdot S_{oc} \cdot \beta + S_p) \cdot 1000 - M_{гр} \cdot C_{гр}}{M}, \quad (3)$$

где C_{max} – предельно допустимая минерализация ДСВ, пригодных для орошения, г/см³.

Применим полученное соотношение при моделировании рециклинга ДСВ как без разбавления, так и с последовательным разбавлением. Рецик-

линг ДСВ без разбавления заключается в том, что на первый орошаемый участок S_1 подается природная вода, ДСВ с этого участка орошается ниже-расположенный участок S_2 и т. д. В чистом виде ДСВ направляются на орошение только в тех случаях, когда содержание в них загрязняющих веществ не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК), и так как ДСВ не разбавляются, то их многократное использование ограничено.

Рециклинг ДСВ без разбавления для целей орошения можно описать уравнением:

$$S_1 \cdot q = Q_{\text{ДСВ}} = (q - R) \sum_{i=1}^n S_i + S_n \cdot R,$$

где S_1 , S_i и S_n – площади орошаемых участков нетто, га;

q – гидромодуль орошения брутто, л/(с·га);

$Q_{\text{ДСВ}}$ – расход в голове оросительной системы с рециклингом ДСВ, л/с;

n – число орошаемых участков при рециклинге ДСВ;

i – индекс последовательно орошаемых участков, $i = \overline{1, n}$;

R – удельный расход ДСВ, л/(с·га).

Рециклинг ДСВ с последующим разбавлением заключается в том, что на первый орошаемый участок S_1 подается природная вода, ДСВ с него, разбавленными природной водой до нормативных значений, орошается ниже-расположенный участок S_2 , ДСВ с него, также разбавленными природной водой до нормативных значений, орошается участок S_3 и т. д.

Используемые для полива ДСВ должны разбавляться природной водой в двух случаях: либо тогда, когда их минерализация превышает предельно допустимую величину C_{max} , рассчитанную по формуле (3), либо тогда, когда имеющегося объема ДСВ не хватает для обеспечения гидромодуля орошения. Данный вариант рециклинга ДСВ можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} S_1 \cdot q = Q_{\text{ДСВ}} - \sum_{i=1}^n Q_{i+1} = (q - R) \sum_{i=1}^n S_i + S_n \cdot R, \\ S_{i+1} \cdot q = S_i R + Q_{i+1}, \\ S_{i+1} \cdot q \cdot C_{i+1} = S_i \cdot R \cdot c_i + Q_{i+1} \cdot C_1, \end{cases}$$

где Q_{i+1} – расход природной воды, используемой для разбавления ДСВ и орошения участка S_{i+1} , л/с;

C_{i+1} – минерализация разбавленной воды, которой поливается участок S_{i+1} , г/дм³, при этом обязательно выполнение условия: $C_{i+1} \leq C_{\text{max}}$;

c_i – минерализация ДСВ с участка S_i , г/дм³;

C_1 – минерализация природной воды, г/дм³.

В зависимости от количества и качественного состава ДСВ возможна интеграция вариантов рециклинга, например, ДСВ с участка S_1 подаются на участок S_2 чистыми, а с участка S_2 на участок S_3 – разбавленными природной водой, при этом определение параметров рециклинга ДСВ и для варианта без разбавления, и для варианта с последующим разбавлением осуществляется по одним и тем же формулам.

Рециклинг ДСВ при необходимости может обеспечивать увеличение поливной площади, если выполняется условие:

$$Q_{\text{ДСВ}} = Q_{\text{одн}} = \text{const},$$

где $Q_{\text{одн}}$ – величина забора воды в голове оросительной системы при однократном использовании воды, л/с.

Тогда величина возросшей площади орошения может быть рассчитана из соотношения:

$$S_1 = \frac{S_0 \cdot q}{(q - R) \sum_{k=1}^n \prod_{i=1}^{k-1} A_i + R \prod_{i=1}^{n-1} A_i}, \quad (4)$$

где S_0 – площадь, орошаемая при однократном использовании воды, га;

$\sum$ – символ суммы ряда;

$\prod$ – символ произведения ряда;

A_i – вспомогательная величина, получаемая из соотношения:

$$A_i = \frac{R \cdot (c_i - C_1)}{q \cdot (C_i + C_1)}.$$

Необходимым условием возможности увеличения рассчитываемой по соотношению (4) площади орошения при рециклинге ДСВ без разбавления пресной водой является $C_{i+1} \leq C_{\max}$.

Также при неизменной площади каждого поливного участка рециклинг ДСВ может обеспечить экономию природной воды, при этом площадь первого поливного участка определяется из соотношения:

$$S_1 = \frac{S_0}{\sum_{k=1}^n \prod_{i=1}^{k-1} A_i},$$

площади каждого из последующих орошаемых участков определяются уравнением:

$$S_{i+1} = S_i A_i,$$

последнего орошаемого участка уравнением:

$$S_n = S_1 \prod_{i=1}^{n-1} A_i,$$

а расходы требуемой для орошения этих участков природной воды определяются по формулам:

$$Q_1 = S_1 \cdot q,$$

$$Q_{i+1} = S_{i+1} \cdot q - S_i \cdot R.$$

Тогда объем забранной воды в голове оросительной системы с рециклингом ДСВ будет рассчитываться по формуле:

$$Q_{\text{ДСВ}} = \sum_{i=1}^n Q_i.$$

В случае рециклинга ДСВ без разбавления природной водой формула (4) меняется на равенство $S_1 = S_0$. Тогда $Q_{i+1} = 0$, $C_{i+1} = c_i$ и $A_i = R/q$.

Один из способов экономии природной воды – создание условий, когда ДСВ, сбрасываемые с оросительной системы, будут направляться в ее голову и, смешиваясь с водой из природного водоисточника, повторно поступать в оросительную систему. Рециклинг ДСВ в этом случае экономически может быть выгоден только на участках с незначительным уклоном, так как только при этом условии перекачка ДСВ при помощи насосных станций против уклона местности к голове оросительной системы будет затрачивать незначительное количество электроэнергии. В связи с тем, что рециклинг ДСВ при рассматриваемой технологии использования заключается в подаче их с водосборной площади S на орошение этой же площади, с ростом числа повторений рециклинга будет возрастать минерализация оросительной воды, потому что доставляемые вместе с ДСВ в оросительную систему соли не выносятся, а вода расходуется на транспирацию и испарение. Поэтому для предотвращения угрозы превышения ПДК по показателям минерализации оросительной воды необходимо спланировать изъятие доли ДСВ из оборота, ее очистку, а затем либо повторное использование, либо сброс в водоприемник. Уравнения водного и солевого балансов при рассматриваемой технологии рециклинга ДСВ имеют вид:

$$S \cdot q = Q_{\text{ДСВ}} + S \cdot (R - r),$$
$$S \cdot q \cdot C = Q_{\text{ДСВ}} \cdot C_1 + S \cdot (R - r) \cdot c,$$

где S – площадь нетто, подвешенная к оросительной системе с рециклингом ДСВ, га;

r – удельный расход ДСВ, изымаемой из оборота, л/(с·га);

C – минерализация поливной воды при ее обороте, г/дм³;

c – минерализация ДСВ, г/дм³.

Расчет потенциального увеличения поливной площади при рециклинге ДСВ и выполнении условия $Q_{\text{ДСВ}} = Q_{\text{одн}} = \text{const}$ осуществляется по формуле:

$$S = \frac{S_0 \cdot q}{q - R + r}. \quad (5)$$

Расчет экономии оросительной воды при рециклинге ДСВ и выполнении условия $S = S_0 = \text{const}$ осуществляется по формуле:

$$Q_{\text{ДСВ}} = S_0 \cdot (q - R + r). \quad (6)$$

Величину r для уравнений (5) и (6) необходимо определять по формуле:

$$r = R - q \cdot \left(\frac{C - C_1}{c - C_1} \right).$$

Проведем расчеты, используя полученные формулы. Например, при удельном расходе изымаемых из оборота ДСВ r , равном 5 %, и удельном расходе ДСВ R , равном 95 % от гидромодуля орошения q , получаем по формуле (5), что потенциальный прирост поливной площади, связанный с осуществлением рециклинга ДСВ, составляет 10 % от существующей площади орошения. Также, проведя расчеты (таблица 1) экономической эффективности реализации варианта рециклинга ДСВ с последовательным их разбавлением при выращивании кукурузы на капельном поливе с учетом затрат на модернизацию оросительной системы, аналогичные проведенным в работе Ж. В. Кизюна, В. О. Шишкина, Н. В. Островского [11], и с учетом актуальных расценок^{2, 3} получаем, что ежегодная дополнительная прибыль, обусловленная рециклингом ДСВ, на оросительных системах в условиях недостаточной водообеспеченности будет составлять порядка 18 % и дисконтированный срок окупаемости модернизации составит 6 лет, это является вполне приемлемым для инвестиционных проектов, имеющих экологическую направленность.

²Прайс-листы // «Синтез Пайп». Завод по производству труб [Электронный ресурс]. URL: <https://novocherkassk.sintezpipe.ru/price-lists> (дата обращения: 14.10.2022).

³Металлобаза в Новочеркасске крупная сеть металлобаз // Металлоторг [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metalloprice.ru/metallobaza-novocherkassk> (дата обращения: 14.10.2022).

**Таблица 1 – Экономическая оценка эффективности реализации
варианта рециклинга дренажно-сбросных вод
с последовательным их разбавлением**

**Table 1 – Economic assessment of efficiency of the implementation
of the option of drainage and waste water recycling with
their successive dilution**

Показатель	Величина показателя
Удельные капитальные затраты, тыс. руб./га	9,88
Ежегодные дополнительные издержки, тыс. руб./га	1,23
Ежегодная дополнительная прибыль, тыс. руб./га	2,77
Удельная величина ежегодного экологического эффекта, тыс. руб./га	0,61
Срок окупаемости, лет	5
Дисконтированный срок окупаемости, лет	6

Вывод. Рециклинг ДСВ при орошении является перспективным направлением для увеличения водообеспеченности и улучшения экологической обстановки. С помощью полученных соотношений могут быть решены задачи оптимального с учетом наличия природных вод и рециклинга ДСВ распределения воды между орошаемыми участками и определения их площадей.

Список источников

1. Хаустов Д. В. Обзор нового законодательства // Экологическое право. 2019. № 2. С. 40–47.
2. Fujimaki H. Subsurface drainage and water-saving irrigation in sustainable agriculture // Water. 2021. 13(10). 1332. <https://doi.org/10.3390/w13101332>.
3. Оценка воздействия подготовленных дренажных и сбросных вод на окружающую среду матричным методом / Д. Г. Васильев, В. Ц. Челахов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2020. № 2(05). С. 1–12. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=59> (дата обращения: 14.10.2022). DOI:10.31774/2658-7890-2020-2-1-12.
4. Васильев Д. Г., Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Оценка пригодности дренажно-сбросных вод для орошения с учетом почвенно-мелиоративных условий // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 3. С. 63–68. DOI: 10.5281/zenodo.1197906.
5. Васильев С. М., Домашенко Ю. Е., Кисиль А. А. Влияние поверхностного стока урбанизированных территорий на химический состав коллекторно-сбросных вод // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 31–48. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=529> (дата обращения: 14.10.2022).
6. Васильев Д. Г. Ретехнологизация способа подготовки дренажных и сбросных вод для оросительной мелиорации // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5(73). С. 157–160.
7. Васильев Д. Г., Гурина И. В., Васильев С. М. Результаты исследования химического состава дренажно-сбросных вод Азовской оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 4(84). С. 29–34.

8. Исаев Ю. С. Рекомендации по определению предельно допустимой минерализации поливной воды для условий черноземных почв Ростовской области. Новочеркасск: ЮЖНИИГиМ, 1984. 78 с.

9. Ковда В. А., Розанов Б. Г. Изменение почвенного покрова под влиянием мелиорации // Гидротехника и мелиорация. 1975. № 7. С. 16–23.

10. Щедрин В. Н., Капустян А. С. Очистка дренажно-сбросных вод от вредных примесей // Мелиорация и водное хозяйство. 1998. № 6. С. 32–34.

11. Кизюн Ж. В., Шишкин В. О., Островский Н. В. Оценка экономической эффективности способа выращивания риса с повторным использованием дренажно-сбросных вод // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2014. № 97(03). 11 с. URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/53.pdf> (дата обращения: 14.10.2022).

References

1. Khaustov D.V., 2019. *Obzor novogo zakonodatel'stva* [Review of new legislation]. *Ekologicheskoe pravo* [Environmental Law], no. 2, pp. 40-47. (In Russian).

2. Fujimaki H., 2021. Subsurface drainage and water-saving irrigation in sustainable agriculture. *Water*, 13, 1332, <https://doi.org/10.3390/w13101332>.

3. Vasiliev D.G., Chelakhov V.Ts., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2020. [Environmental impact assessment of the treated drainage and wastewaters by matrix method]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 2(05), pp. 1-12, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=59> [accessed 14.10.2022], DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-1-12. (In Russian).

4. Vasiliev D.G., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2018. *Otsenka prigodnosti drenazhno-sbrosnykh vod dlya orosheniya s uchetom pochvenno-meliorativnykh usloviy* [Assessing the suitability of drainage water for irrigation in view of soil-reclamation conditions]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice], no. 3, vol. 4, pp. 63-68, DOI: 10.5281/zenodo.1197906. (In Russian).

5. Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., Kisil' A.A., 2018. [The influence of surface urban runoff on the chemical composition of collector-waste waters]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 31-48, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=529> [accessed 14.10.2022]. (In Russian).

6. Vasiliev D.G., 2018. *Retekhnologizatsiya sposoba podgotovki drenazhnykh i sbrosnykh vod dlya orositel'noy melioratsii* [Re-engineering of the method of preparing drainage and waste water for irrigation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Orenburg State Agrarian University], no. 5(73), pp. 157-160. (In Russian).

7. Vasiliev D.G., Gurina I.V., Vasiliev S.M., 2021. *Rezultaty issledovaniya khimicheskogo sostava drenazhno-sbrosnykh vod Azovskoy orositel'noy sistemy* [Results of a study of the chemical composition of drainage and waste waters of the Azov irrigation system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(84), pp. 29-34. (In Russian).

8. Isaev Yu.S., 1984. *Rekomendatsii po opredeleniyu predel'no dopustimoy mineralizatsii polivnoy vody dlya usloviy chernozemnykh pochv Rostovskoy oblasti* [Recommendations for Determining the Maximum Permissible Mineralization of Irrigation Water for the Conditions of Chernozem Soils of Rostov Region]. Novocherkassk, YuzhNIIGiM Publ., 78 p. (In Russian).

9. Kovda V.A., Rozanov B.G., 1975. *Izmenenie pochvennogo pokrova pod vliyaniem melioratsii* [Soil cover change under the influence of land reclamation]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Land Reclamation], no. 7, pp. 16-23. (In Russian).

10. Shchedrin V.N., Kapustyan A.S., 1998. *Ochistka drenazhno-sbrosnykh vod ot vrednykh primesey* [Purification of drainage-wastewaters from harmful impurities]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 32-34. (In Russian).

11. Kizyun Zh.V., Shishkin V.O., Ostrovsky N.V., 2014. [Evaluation of the economic efficiency of the method of growing rice with the reuse of drainage and waste water]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematicheskiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 97(03), 11 p., available: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/53.pdf> [accessed 14.10.2022]. (In Russian).

Информация об авторах

М. В. Власов – ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук;
С. В. Куприянова – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

M. V. Vlasov – Leading Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences;
S. V. Kupriyanova – 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 21.10.2022; одобрена после рецензирования 28.11.2022;
принята к публикации 01.12.2022.*

*The article was submitted 21.10.2022; approved after reviewing 28.11.2022; accepted for
publication 01.12.2022.*