

## ЭКОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 631.67.03

doi: 10.31774/2658-7890-2022-4-1-1-13

### Анализ зарубежного опыта утилизации сбросных и дренажных вод в оросительных мелиорациях

Юлия Евгеньевна Домашенко<sup>1</sup>, Николай Николаевич Проценко<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>domachenko\_u@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2602-5831>

<sup>2</sup>procenko@ecsexpert.ru

**Аннотация.** Цель: обзор практик использования дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур как приоритетного направления их утилизации. **Обсуждения.** Одной из приоритетных стратегий устойчивого управления доступными водными ресурсами является повторное использование дренажных и сбросных вод для оросительных мелиораций с учетом гидрогеолого-мелиоративных условий местности. Снижение темпов деградации источников водоснабжения, подверженных воздействию дренажных и сбросных вод, возможно только при создании системы регулирования водораспределения на оросительных системах различного уровня, которая позволила бы учитывать ресурс дренажных и сбросных вод для орошения. Чаще всего дренажные и сбросные воды используют для орошения солеустойчивых культур. Применение дренажных и сбросных вод с минерализацией от 1,5 до 10,0 г/дм<sup>3</sup> для орошения зерновых и кормовых культур не вызвало снижения урожайности. **Выводы.** Как показал проведенный анализ утилизации дренажных и сбросных вод, широкое применение их в оросительных мелиорациях объясняется повышенной минерализацией и примесями техногенного характера (пестициды, гербициды, микроэлементы, нефтепродукты и др.). Принятые меры по разбавлению таких вод пресной водой из каналов позволили только частично решить проблему их накопления и сокращения сбросов в водные объекты. Также по-прежнему наблюдался рост потребления поливной воды для орошения сельскохозяйственных культур. В связи с этим актуальным является проведение поисковых исследований в области технологий подготовки и очистки дренажных и сбросных вод для целей орошения.

**Ключевые слова:** дренажные воды, сбросные воды, оросительные мелиорации, орошение, утилизация, сельскохозяйственные культуры

**Для цитирования:** Домашенко Ю. Е., Проценко Н. Н. Анализ зарубежного опыта утилизации сбросных и дренажных вод в оросительных мелиорациях // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 1. С. 1–13. <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-1-13>.

## ECOLOGY

Review article

### Analysis of foreign experience of waste and drainage water recycling in irrigation reclamation

Yulya E. Domashenko<sup>1</sup>, Nikolay N. Protsenko<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

<sup>1</sup>domachenko\_u@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2602-5831>

<sup>2</sup>procenko@ecsexpert.ru

**Abstract. Purpose:** to review the practice of using drainage and waste water for irrigating agricultural crops as a priority for their utilization. **Discussions.** One of the priority strategies for sustainable management of available water resources is the reuse of drainage and waste water for irrigation reclamation, taking into account the hydrogeological and reclamation conditions of the area. The reducing of the degradation rate of water supply sources subject to the impact of drainage and waste water, is possible only with the creation of a system for regulating water distribution in irrigation systems of various levels, which would allow taking into account the resource of drainage and waste water for irrigation. Most often, drainage and waste water is used for irrigating salt-tolerant crops. The use of drainage and waste water with salinity from 1.5 to 10.0 g/dm<sup>3</sup> for irrigating grain and fodder crops did not cause a reduction in yield. **Conclusions.** As the analysis of drainage and waste water utilization shows, their widespread use in irrigation reclamation is explained by the increased mineralization and technogenic impurities (pesticides, herbicides, trace elements, oil products, etc.). The measures taken to dilute such waters with fresh water from canals only partially solved the problem of their accumulation and reduction of discharges into water bodies. Also, there was still an increase in the irrigation water consumption for irrigating crops. In this regard, it is relevant to conduct exploratory research in the field of technologies preparation and purification of drainage and waste water for irrigation purposes.

**Keywords:** drainage water, waste water, irrigation reclamation, irrigation, recycling, agricultural crops

**For citation:** Domashenko Yu. E., Protsenko N. N. Analysis of foreign experience of waste and drainage water recycling in irrigation reclamation. *Ecology and Water Management*. 2022;4(1):1–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-1-13>.

**Введение.** Интенсивное использование водных ресурсов для орошения, возрастающее антропогенное воздействие на водные источники и неудовлетворительная эксплуатация оросительных систем привели к экологическим последствиям – загрязнению, подтоплению, засолению орошаемых земель и, как следствие, деградации и потере хозяйственного значения целого ряда почвенных и водных экосистем [1].

Многие оросительно-осушительные системы находятся на низком техническом уровне, что снижает их эколого-мелиоративную надежность. Поэтому внедрение при строительстве этих систем очистных сооружений по подготовке дренажных и сбросных вод для дальнейшего использования в целях орошения позволит обеспечить их безопасное функционирование в комплексе экологически сбалансированной оросительной системы [2].

Современная оросительная система выполнена в виде комплекса сооружений, с помощью которых осуществляется забор воды из источника

орошения, транспортирование ее до орошаемых массивов, распределение по поливным участкам для создания водно-воздушного и солевого режима. Немаловажной функциональной особенностью этих систем является отвод с орошаемых массивов дренажных, сбросных и грунтовых вод.

Одной из приоритетных стратегий устойчивого управления доступными водными ресурсами является повторное использование дренажных и сбросных вод для оросительных мелиораций с учетом гидрогеолого-мелиоративных условий местности.

Цель исследований – обзор практик использования дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур как приоритетного направления их утилизации.

**Обсуждение.** В ФГБНУ «РосНИИПМ» проводились исследования, посвященные оценке объемов и качества дренажных и сбросных вод с оросительных систем Ростовской области. На основании их установлено, что годовой сток данной категории вод составляет ориентировочно 800 млн м<sup>3</sup>. Максимальный расход дренажных и сбросных вод приходится на Пролетарский, Семикаракорский, Волгодонской и Багаевский районы [3].

Ретроспективный анализ качественных показателей дренажных и сбросных вод с оросительных систем (таблица 1) показал, что их минерализация находится в пределах 0,3–24,4 г/дм<sup>3</sup>. Причем Ростовская область по этому показателю занимает третье место после Волгоградской области и Республики Калмыкия [4].

Исследования орошения хлопчатника дренажными и сбросными водами с минерализацией 5–6 г/дм<sup>3</sup>, проводимые в условиях Центральной Ферганы, показали, что за 12 лет урожайность хлопчатника в среднем снизилась на 2 ц/га в сравнении с поливом природной водой. При этом наблюдалось увеличение содержания хлоридов в почвенном профиле, однако это не повлияло на физико-химические свойства [5].

**Таблица 1 – Химический состав дренажных и сбросных вод с оросительных систем в некоторых субъектах Российской Федерации**

**Table 1 – Chemical composition of drainage and waste water from irrigation systems in some constituent entities of the Russian Federation**

| Регион РФ                                                                                                                                                   | Минерализация, г/дм <sup>3</sup> | Концентрация ионов (мг/л) и значение pH |                             |                               |                            |                           |                                  |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|                                                                                                                                                             |                                  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>           | Cl <sup>-</sup>             | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup>           | Mg <sup>2+</sup>          | Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> | pH                    |
| Алтайский край                                                                                                                                              | <u>0,3–2,2</u><br>0,5            | <u>128,0–492,7</u><br>182,6             | <u>28–456,2</u><br>66,5     | <u>61,5–884,2</u><br>148,4    | <u>44–107</u><br>56,2      | <u>10,7–70</u><br>21,7    | <u>220–697</u><br>101,2          | 7,6                   |
| Астраханская область                                                                                                                                        | <u>0,4–1,96</u><br>1,2           | <u>77,0–421</u><br>230,2                | <u>42–559</u><br>219,9      | <u>85–774</u><br>349          | <u>45–243</u><br>123,1     | <u>16–180</u><br>58,2     | <u>38–409</u><br>162,8           | –                     |
| Волгоградская область                                                                                                                                       | <u>0,3–24,4</u><br>2,8           | <u>68,0–737,0</u><br>368,1              | <u>14–5285</u><br>402,2     | <u>20–13845</u><br>1201,8     | <u>12–920</u><br>139,6     | <u>5–1008</u><br>120,4    | <u>3–6110</u><br>585,7           | <u>6,7–9,4</u><br>7,9 |
| Карачаево-Черкесская Республика                                                                                                                             | <u>0,3–0,6</u><br>0,4            | <u>250,3–398</u><br>329,3               | <u>13,8–22,7</u><br>18,4    | <u>24,5–220</u><br>122        | <u>53,7–76,1</u><br>–      | <u>19,4–42,6</u><br>31    | <u>26,4–110,4</u><br>59,7        | 8,2                   |
| Липецкая область                                                                                                                                            | <u>0,4–0,7</u><br>0,5            | <u>220–360</u><br>288,2                 | <u>18–42</u><br>27,7        | <u>43–115</u><br>64,2         | <u>64–132</u><br>96        | <u>11–34</u><br>16,7      | <u>7–15</u><br>12                | <u>7,6–7,9</u><br>7,7 |
| Республика Калмыкия                                                                                                                                         | <u>1,2–10,6</u><br>6,7           | <u>224–395</u><br>313,5                 | <u>297–3850</u><br>1601     | <u>432–4080</u><br>2438       | <u>40–750</u><br>412,5     | <u>126–570</u><br>365     | <u>211–2503</u><br>1276,7        | <u>7–8</u><br>7,8     |
| Ростовская область                                                                                                                                          | <u>0,8–8,8</u><br>2,2            | <u>240–416,9</u><br>308,3               | <u>89,8–3905,7</u><br>377,8 | <u>452–1846,4</u><br>967,3    | <u>97,5–277,5</u><br>169,9 | <u>33,2–317,2</u><br>98,8 | <u>129,6–2412</u><br>441,7       | <u>7,6–8,1</u><br>7,8 |
| Самарская область                                                                                                                                           | <u>0,3–0,4</u><br>0,3            | <u>128–205</u><br>153                   | <u>36,8–58</u><br>42        | <u>38–98</u><br>68            | <u>48–68</u><br>61         | <u>9–20</u><br>14         | <u>6–40</u><br>16                | 7,3                   |
| В основных ячейках таблицы в числителе указаны пределы изменения показателя (максимум – минимум), а в знаменателе – среднее значение показателя по области. |                                  |                                         |                             |                               |                            |                           |                                  |                       |

Использование дренажных и сбросных вод с минерализацией от 1,5 до 10,0 г/дм<sup>3</sup> для орошения зерновых и кормовых культур не вызвало снижения урожайности.

В Азербайджане также проводились исследования влияния дренажных и сбросных вод с минерализацией от 0,8 до 13,5 г/дм<sup>3</sup> на урожайность хлопчатника, люцерны, пшеницы, ячменя и многолетних насаждений [6]. Исследования показали, что при поливе водой с минерализацией менее 7 г/дм<sup>3</sup> на сероземно-луговых почвах, обладающих слабой водопроницаемостью, наблюдалось засоление почв и снижение урожайности культур.

С. Т. Гасановым и М. Я. Искендеровым отмечается, что для земель, имеющих хорошую дренированность, незасоленных и глубоко опресненных земель с высокими фильтрационными свойствами при длительном поливе их дренажными и сбросными водами с минерализацией более 9 г/дм<sup>3</sup> негативное воздействие незначительно. Но в этих условиях засоление почвы по содержанию плотного остатка находится в пределах порога токсичности, а по количеству хлора почвы переступают пределы порога токсичности. В условиях Азербайджана эта проблема решается с помощью влагозарядкового полива (арата) пресными водами, так как хлориды легкорастворимы. Орошение дренажными и сбросными водами с минерализацией менее 5 г/дм<sup>3</sup> можно использовать без дополнительного разбавления. Тогда как при минерализации 6–7 г/дм<sup>3</sup> необходимо проводить чередование с пресной водой, а при минерализации более 7 г/дм<sup>3</sup> следует осуществлять разбавление [7, 8].

В обзоре, проведенном ученым из США (штат Калифорния) D. W. Westcot, утверждается, что одним из основных направлений утилизации дренажных и сбросных вод является их сброс в поверхностные водоисточники и водотоки после их предварительного разбавления чистой водой. Это объясняется отсутствием механизмов экономического стимулирования сельхозтоваропроизводителей к внедрению технологий их подготовки и очистки для дальнейшего использования.

Снижение темпов деградации источников водоснабжения, подверженных воздействию дренажных и сбросных вод, возможно только при создании системы регулирования водораспределения на оросительных системах различного уровня, которая позволила бы учитывать ресурс дренажных и сбросных вод для орошения.

Применение предварительно не подготовленных дренажных вод для орошения будет способствовать образованию солоноватых или соленых подземных вод, что ограничит их использование для оросительных мелиораций, улучшения водно-болотных угодий или агролесомелиорации. Поэтому практика использования разбавленных дренажных вод не будет способствовать снижению потребления природной воды, используемой для орошения. Применение в качестве накопителей дренажных вод прудов-испарителей приводит к накоплению солей и микроэлементов, которые требуют более глубокой утилизации, чем исходные дренажные воды [9].

Наиболее актуальна проблема дефицита водных ресурсов для Египта, так, на его территории находятся довольно ограниченные водные ресурсы, которые представлены в основном водным потенциалом р. Нил [10]. На сегодняшний день около 5,5 млрд м<sup>3</sup> дренажной воды используется повторно после разбавления для орошения сельскохозяйственных культур. Авторами предполагалось, что к 2017 г. будет увеличено применение дренажной воды до 9,6 млрд м<sup>3</sup> для целей орошения [11].

В условиях засушливого и полузасушливого климата дренажные воды имеют повышенную минерализацию. Проведенные в Индии в течение 7 лет полевые исследования орошения пшеницы дренажными водами, в которых колебание минерализации составило 6; 9; 12 и 18,8 дСм/м, показали, что динамика снижения урожайности пшеницы соответственно составила 4,2; 9,7; 16,3 и 22,2 %. Таким образом, значительное снижение урожайности наблюдалось только при использовании дренажных вод с минерализацией 12 дСм/м или выше. Также риск засоления почвенного профиля и повыше-

ние солесодержания в дренажных водах компенсировались устройством высокоэффективного дренажа и интенсивных естественных осадков. Описанные выше факты позволили исследователям рекомендовать для данных конкретных условий к применению дренажные воды для орошения озимой пшеницы без негативных последствий для агроэкосистем [12, 13].

Экспериментальные исследования, проводимые в условиях аллювиальных супесчаных засоленных почв в период 1997–2000 гг. в Центральном институте исследования буйволов (Хисар, Индия), показали, что при поливе разбавленными дренажными водами наблюдалось увеличение урожайности кормов на 115 % в сравнении с орошением только минерализованной дренажной водой. Объектами исследований выступали пять видов кормовых культур: овес, райграс, рожь, сенджи, египетский клевер и персидский клевер. При этом максимальная урожайность наблюдалась у овса в первый год исследований и составила по зеленой массе 32,3 т/га, а у ржи максимум пришелся на второй (34,6 т/га) и третий годы (37,0 т/га). Также персидский клевер имел лучшие результаты по сравнению с египетским клевером за весь период исследований. При поливе только минерализованной дренажной водой урожайность снизилась в сравнении с использованием воды из каналов по ржи, овсу, персидскому клеверу, египетскому клеверу и сенджи соответственно на 36; 42; 54; 68; 85 %. Урожайность снижалась линейно по всем культурам с увеличением количества применяемой соли [14].

Особенно острая обстановка с качеством дренажных и сбросных вод сложилась на рисовых системах. В Китае в районе Чжанхэ проведен анализ эффективности повторного использования данной категории вод и ее качества во внутрихозяйственных прудах-накопителях. Как показали исследования водного баланса пруда-накопителя, 20,6–68,9 % было повторно использовано на орошение. Анализ физико-химического состава дренажных и сбросных вод показал, что пруд-накопитель позволяет снизить содержание общего фосфора на 47,2 %, общего азота на 60,8 % и взвешенных ве-

ществ на 68,4 %. Применение каскадной оросительной системы с группой прудов-накопителей позволило повысить водооборот внутри системы в несколько раз, тем самым снизив потребность в дополнительной оросительной воде из природных источников для производства риса. Внедрение циклического орошения также позволило предотвратить миграцию азота и фосфора в окружающую среду. Поэтому предложенный подход целесообразно использовать в сфере повторного использования дренажных и сбросных вод в качестве альтернативных источников орошения и создания экологически сбалансированных агроландшафтов [15].

Исследования в Корее проводились в рамках программы пограничных исследований и разработок XXI в., спонсируемой Министерством образования, науки и техники и связанной с программой исследования устойчивых водных ресурсов. В работе были изучены дренажные воды различного качества, используемые для орошения зерновых культур и овощей, а также были рассмотрены возможные негативные воздействия данных вод на экологическое состояние сельскохозяйственных культур и окружающей среды [16].

В условиях водосборного района Большого Барьерного рифа Австралии стоит вопрос загрязнения дренажных вод пестицидами при производстве сахарного тростника. Проведенные исследования выявили динамику перемещения пестицидов, таких как диурон, атразин и аметрин, в пределах орошаемого участка и их миграцию в подземные и поверхностные водоисточники. Наибольшие концентрации загрязнителя наблюдались на начальном этапе проведения поливов после внесения удобрений. Повышение темпов миграции пестицидов может быть спровоцировано не только плановыми поливами, но и естественными осадками в виде дождя. Именно сочетание описанных выше факторов позволяет усреднить концентрацию пестицидов в окружающей среде [17].

На качество дренажных и сбросных вод значительное влияние оказывают гидрогеологические и гидрохимические условия территории.

Именно с учетом этих факторов проводились исследования использования дренажных вод в качестве источника оросительной воды в районе Агулиницы на Пелопоннесе (Западная Греция). Проведенные исследования физико-химического состава дренажных и оросительных вод из каналов показали, что 60,0 % проб дренажной воды как до, так и после поливного сезона пригодны для полива. Это же характерно для 83,3 % проб воды из оросительных каналов. Однако 80,0 и 55,6 % проб дренажной воды, отобранных до и после поливного периода, соответственно могут оказать негативное воздействие на рост и развитие растений [18].

Одним из направлений безопасного использования дренажных вод является реализация схемы смешанной подачи пресной (вода из канала 0,55 дСм/м) и соленой воды (дренажная вода 4,2–4,8 дСм/м). В дельте Нила (Египет) проведены исследования рассматриваемой техники орошения с использованием капельного и бороздчатого метода на томатах (cv. Floradade). Оценивалась урожайность и развитие культуры, а также накопление солей в корневой системе растений. Наилучший результат по урожайности (3,2 кг/растение) получен при использовании капельного орошения и смеси пресной (60 %) и соленой воды (40 %) [19].

Чаще всего дренажные и сбросные воды используют для орошения солеустойчивых культур [20]. В западной части Калифорнийской долины Сан-Хоакин проводились исследования, посвященные использованию галофитов в качестве приоритетной культуры при орошении высокоминерализованными дренажными водами. Предложенная стратегия позволит сократить объемы дренажной воды за счет орошения и количества солей и других загрязняющих веществ до сброса конечного стока в пруд-испаритель. Изучены шесть видов галофитов: *Salicornia bigelovii*, *Atriplex lentiformis*, *Distichlis spicata*, *Spartina gracilis*, *Allenrolfea occidentalis*, *Bassia hyssopifolia*. Длительность исследований составила 4–6 лет с применением дренажных вод преимущественно натриево-сульфатного состава. Целесо-

образность использования конкретного вида галофита оценивалось по урожайности, водопотреблению и качеству биомассы с точки зрения применения в качестве корма для животных. Полученные результаты позволили рекомендовать к использованию все виды испытуемых галофитов в условиях сильно засоленных солонцами почв (коэффициент адсорбции натрия  $SAR = 39,4$ ), при этом прирост биомассы в сухом веществе находился в пределах 3,8–17,4 т/га. Галофиты, орошаемые высокоминерализованными дренажными водами, можно отнести к категории кормов очень низкого качества, на которых не рекомендуется длительный выпас скота, но возможно их использование в качестве кормовой добавки при строгом контроле рациона животных [21].

**Выводы.** Как показал проведенный анализ утилизации дренажных и сбросных вод, широкое применение их в оросительных мелиорациях ограничивается повышенной минерализацией и примесями техногенного характера (пестициды, гербициды, микроэлементы, нефтепродукты и др.). Принятые меры по их разбавлению пресной водой из каналов позволили только частично решить проблему их накопления и сокращения сбросов в водные объекты. Также по-прежнему наблюдался рост потребления поливной воды для орошения сельскохозяйственных культур. В связи с этим актуальным является проведение поисковых исследований в области технологий подготовки и очистки дренажных и сбросных вод для целей орошения.

### **Список источников**

1. Кирейчева Л. В. Дренажные воды как альтернативные водные ресурсы для орошения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 4. С. 13–18.
2. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко И. В. Комплексная оценка технического уровня гидромелиоративных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2013. № 6. С. 8–11.
3. Капустян А. С., Пальцев В. П., Щедрина А. В. Очистка и утилизация дренажно-сбросных вод оросительных систем / ЮжНИИГиМ. М., 2000. 242 с.
4. Конторович И. И. Использование WAIV-технологии для утилизации минерализованного дренажного стока // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». М.: Сам Полиграфист, 2020. Вып. 8. С. 161–170.

5. Капустян А. С., Юченко Л. В., Старостина О. А. Качество дренажно-сбросных вод оросительных систем // Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2003. Ч. 1. С. 160–164.

6. Искендеров М. Я. Влияние полива минерализованной водой на некоторые физиолого-биохимические процессы хлопчатника // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 4. С. 27–30.

7. Шахмалиева С. М. Использование коллекторно-дренажных вод при поливе хлопчатника с целью рационального использования водных ресурсов // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 11–15 апр. 2018 г. / ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова». М., 2018. С. 391–395.

8. Гасанов С. Т., Искендеров М. Я. Влияние орошения коллекторно-дренажной водой на солевой режим почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в хлопковом севообороте // Агрохимия. 2016. № 6. С. 59–66.

9. Конторович И. И. Комплекс сооружений для утилизации минерализованного дренажного стока // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 5. С. 31–35.

10. Fleifle A., Allam A. Remediation of agricultural drainage water for sustainable reuse // The Nile Delta. Cham: Springer, 2016. С. 297–324.

11. Abdel-Shafy H. I., Mansour M. S. M. Overview on water reuse in Egypt: Present and future // J. Sustainable Sanitation Practice. 2013. Vol. 14. P. 17–25.

12. Goel A., Tiwari P. Reuse of canal & drainage water in irrigation for wheat crop by using hydrus 2D software – A case study // Water and Energy International. 2021. Vol. 63, iss. 12. P. 6–11.

13. Sharma D. P., Tyagi N. K. On farm management of saline drainage water in arid and semi-arid regions // Irrigation and Drainage. 2004. Vol. 53, iss. 1. P. 87–103.

14. Yield responses of winter (rabi) forage crops to irrigation with saline drainage water / R. K. Yadav, A. Kumar, D. Lal, L. Batra // Experimental Agriculture. 2004. Vol. 40, iss. 1. P. 65–75. <https://doi.org/10.1017/S0014479703001431>.

15. Performance analysis of on-farm irrigation tanks on agricultural drainage water reuse and treatment / D. Shao, X. Tan, H. Liu, H. Yang, C. Xiao, F. Yang // Resources, Conservation and Recycling. 2013. Vol. 75. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.03.011.

16. Classification of wastewater reuse for agriculture: A case study in South Korea / H. Jeong, C. Seong, T. Jang, S. Park // Irrigation and Drainage. 2016. Vol. 65, iss. 2. P. 76–85. <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.

17. Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems / A. M. Davis, P. J. Thorburn, S. E. Lewis, Z. T. Bainbridge, S. J. Attard, R. Milla, J. E. Brodie // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2013. Vol. 180. P. 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.019>.

18. Alexakis D., Gotsis D., Giakoumakis S. Assessment of drainage water quality in pre- and post-irrigation seasons for supplemental irrigation use // Environmental Monitoring and Assessment. 2012. Vol. 184, iss. 8. P. 5051–5063. DOI: 10.1007/s10661-011-2321-2.

19. Effects of alternating irrigation with fresh and saline water on the soil salt, soil nutrients, and yield of tomatoes / J. Li, J. Chen, Z. Qu, S. Wang, P. He, N. Zhang // Water. 2019. Vol. 11, iss. 8. 1693. DOI: 10.3390/w11081693.

20. Ashu A., Lee S.-I. Reuse of agriculture drainage water in a mixed land-use watershed // Agronomy. 2019. Vol. 9(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy9010006>.

21. Díaz F. J., Benes S. E., Grattan S. R. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California // Agricultural Water Management. 2013. Vol. 118. P. 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.017>.

## References

1. Kireycheva L. V., 2018. *Drenazhnye vody kak al'ternativnye vodnye resursy dlya orosheniya* [Drainage flow as alternative water resource for irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 13-18. (In Russian).
2. Olgarenko V. I., Olgarenko G. V., Olgarenko I. V., 2013. *Kompleksnaya otsenka tekhnicheskogo urovnya gidromeliorativnykh sistem* [Comprehensive assessment of the irrigation systems technical level]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 6, pp. 8-11. (In Russian).
3. Kapustyan A. S., Paltsev V. P., Shchedrina A. V., 2000. *Ochistka i utilizatsiya drenazhno-sbrosnykh vod orositel'nykh sistem* [Purification and Utilization of Drainage and Waste Waters from Irrigation Systems]. YuzhNIIGiM, Moscow, 242 p. (In Russian).
4. Kontorovich I. I., 2020. *Ispol'zovanie WAIV-tehnologii dlya utilizatsii mineralizovannogo drenazhnogo stoka* [Use of WAIV-technology for the utilization of mineralized drainage runoff]. *Ekologicheskoe sostoyanie prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty sovremennykh meliorativnykh tekhnologiy: sb. nauch. tr.* [Ecological State of Natural Environment, Scientific and Practical Aspects of Modern Reclamation Technologies: Proc. of FGBNU VNIIGiM named after A. N. Kostyakov]. Moscow, Sam Polygraphist, iss. 8, pp. 161-170. (In Russian).
5. Kapustyan A. S., Yuchenko L. V., Starostina O. A., 2003. *Kachestvo drenazhno-sbrosnykh vod orositel'nykh sistem* [Quality of drainage and waste water of irrigation systems]. *Sovremennye problemy melioratsii zemel', puti i metody ikh resheniya* [Modern Issues of Land Reclamation, Ways and Methods of Their Solution]. FGNU "RosNIIPM", Novocherkassk, pt. 1, pp. 160-164. (In Russian).
6. Iskenderov M. Ya., 2016. *Vliyanie poliva mineralizovannoy vodoy na nekotorye fiziologo-biokhimicheskie protsessy khlopchatnika* [Effect of irrigation with saline water on some physiological and biochemical processes of cotton]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 27-30. (In Russian).
7. Shakhmalieva S. M., 2018. *Ispol'zovanie kollektorno-drenazhnykh vod pri polive khlopchatnika s tsel'yu ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh resursov* [Use of drainage waters for irrigation of cotton for the purpose of rational use of water resources]. *Sovremennye problemy upravleniya proektami v investitsionno-stroitel'noy sfere i prirodopol'zovanii: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Project Management in the Investment and Construction Sector and Nature Management: Proc. of the VIII International Scientific-Practical Conference of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "PREU named after G. V. Plekhanov"]. Moscow, pp. 391-395. (In Russian).
8. Gasanov S. T., Iskenderov M. Ya., 2016. *Vliyanie orosheniya kollektorno-drenazhnoy vodoy na solevoy rezhim pochvy i produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v khlopkovom sevooborote* [The impact of irrigation drainage water on salt regime of soil and productivity of agricultural crops in cotton crop rotation]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], no. 6, pp. 59-66. (In Russian).
9. Kontorovich I. I., 2020. *Kompleks sooruzheniy dlya utilizatsii mineralizovannogo drenazhnogo stoka* [Complex of facilities for utilization of saline drainage flow]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 31-35. (In Russian).
10. Fleifle A., Allam A., 2016. Remediation of agricultural drainage water for sustainable reuse. The Nile Delta. Cham, Springer, pp. 297-324.
11. Abdel-Shafy H. I., Mansour M. S. M., 2013. Overview on water reuse in Egypt: Present and future. *J. Sustainable Sanitation Practice*, vol. 14, pp. 17-25.
12. Goel A., Tiwari P., 2021. Reuse of canal & drainage water in irrigation for wheat

crop by using hydruS 2D software – A case study. Water and Energy International, vol. 63, iss. 12, pp. 6-11.

13. Sharma D. P., Tyagi N. K., 2004. On farm management of saline drainage water in arid and semi-arid regions. Irrigation and Drainage, vol. 53, iss. 1, pp. 87-103.

14. Yadav R. K., Kumar A., Lal D., Batra L., 2004. Yield responses of winter (rabi) forage crops to irrigation with saline drainage water. Experimental Agriculture, vol. 40, iss. 1, pp. 65-75, <https://doi.org/10.1017/S0014479703001431>.

15. Shao D., Tan X., Liu H., Yang H., Xiao C., Yang F., 2013. Performance analysis of on-farm irrigation tanks on agricultural drainage water reuse and treatment. Resources, Conservation and Recycling, vol. 75, pp. 1-13, DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.03.011.

16. Jeong H., Seong C., Jang T., Park S., 2016. Classification of wastewater reuse for agriculture: A case study in South Korea. Irrigation and Drainage, vol. 65, iss. 2, pp. 76-85, <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.

17. Davis A. M., Thorburn P. J., Lewis S. E., Bainbridge Z. T., Attard S. J., Milla R., Brodie J. E., 2013. Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 180, pp. 123-135, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.019>.

18. Alexakis D., Gotsis D., Giakoumakis S., 2012. Assessment of drainage water quality in pre- and post-irrigation seasons for supplemental irrigation use. Environmental Monitoring and Assessment, vol. 184, iss. 8, pp. 5051-5063, DOI: 10.1007/s10661-011-2321-2.

19. Li J., Chen J., Qu Z., Wang S., He P., Zhang N., 2019. Effects of alternating irrigation with fresh and saline water on the soil salt, soil nutrients, and yield of tomatoes. Water, vol. 11, iss. 8, 1693, DOI: 10.3390/w11081693.

20. Ashu A., Lee S.-I., 2019. Reuse of agriculture drainage water in a mixed land-use watershed. Agronomy, vol. 9(1), <https://doi.org/10.3390/agronomy9010006>.

21. Díaz F. J., Benes S. E., Grattan S. R., 2013. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California. Agricultural Water Management, vol. 118, pp. 59-69, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.017>.

#### ***Информация об авторах***

**Ю. Е. Домашенко** – заместитель директора по науке, доктор технических наук;

**Н. Н. Проценко** – аспирант.

#### ***Information about the authors***

**Yu. Ye. Domashenko** – Deputy Director of Science, Doctor of Technical Sciences;

**N. N. Protsenko** – 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 15.02.2022; одобрена после рецензирования 04.03.2022; принята к публикации 16.03.2022.*

*The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 04.03.2022; accepted for publication 16.03.2022.*