

ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Обзорная статья
УДК 631.62:631.67

Современные направления исследований дренажных систем на орошаемых землях

Олег Владимирович Воеводин

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

Аннотация. **Цель:** анализ научных литературных источников в области дренажа на орошаемых землях на предмет выявления приоритетных современных направлений исследований. **Обсуждение.** В статье рассматривается научная литература отечественных и зарубежных авторов из Казахстана, Узбекистана, Азербайджана, Таджикистана по направлениям оптимизации конструкций, элементов, принципов и эффективности работы дренажа на орошаемых землях, а также его влияния на окружающую среду. В качестве методов обработки информации использовались: анализ, синтез, обобщение, классифицирование. Осуществлялись поиск и накопление информации, ее идентификация и систематизация. **Выводы.** Анализ исследований отечественных и зарубежных ученых позволил определить приоритетные направления исследований в области дренажа на орошаемых землях: оптимизация водного режима и рассоляющего действия дренажа, утилизация дренажного стока, применение дренажных вод для орошения при дефиците водных ресурсов, использование элементов дренажной системы с одинаковым нормативным сроком эксплуатации, уменьшение материалоемкости, установление влияния на экологическую ситуацию, применение вакуумно-дренажных систем, оптимизация междренного расстояния и глубины заложения горизонтального дренажа, применение современных методик расчета и методов моделирования.

Ключевые слова: дренажные системы, орошаемые земли, горизонтальный дренаж, вертикальный дренаж, комбинированный дренаж, междреннее расстояние, глубина заложения дренажа

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на научно-практической конференции «Инновационные пути развития мелиоративных систем и сооружений» (г. Новочеркасск, 5 сентября 2023 г.).

Для цитирования: Воеводин О. В. Современные направления исследований дренажных систем на орошаемых землях // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 101–114.

INNOVATIVE WAYS OF DEVELOPING RECLAMATION SYSTEMS AND STRUCTURES

Review article

Current directions of drainage system research on irrigated lands

Oleg V. Voevodin

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

Abstract. Purpose: to analyze scientific literary sources in the field of drainage on irrigated lands to identify priority modern areas of research. **Discussion.** The scientific litera-

ture of domestic and foreign authors from Kazakhstan, Uzbekistan, Azerbaijan, Tajikistan in directions of optimization of structures, elements, principles and efficiency of drainage on irrigated lands, as well as its impact on the environment is discussed. The following information processing methods: analysis, synthesis, generalization, classification were used. The information search and accumulation, its identification and systematization were carried out. **Conclusions.** Research analysis of domestic and foreign scientists made it possible to determine the priority areas of research in the field of drainage on irrigated lands: optimization of water regime and desalination effect of drainage, utilization of drainage runoff, the use of drainage water for irrigation at water scarcity, the use of drainage system elements with the same rated life, the material consumption reduction, the determination of the impact on the environmental situation, the use of vacuum drainage systems, the optimization of drain spacing and horizontal drainage depth, the use of current calculation practices and modeling methods.

Keywords: drainage systems, irrigated lands, horizontal drainage, vertical drainage, combined drainage, drain spacing, drainage depth

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the scientific and practical conference “Innovative ways of developing reclamation systems and structures” (Novocherkassk, September 5, 2023).

For citation: Voevodin O. V. Current directions of drainage system research on irrigated lands. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):101–114. (In Russ.).

Введение. По данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [1], к 2020 г. мелиоративный фонд страны имел 4,67 млн га орошаемых земель, при этом в сельскохозяйственном производстве не использовалось 791,0 тыс. га, в т. ч. по причине засоления и заболачивания – 116,6 тыс. га. Наиболее обширные территории, на которых располагаются оросительные системы, находятся в южных и юго-восточных регионах России (не считая новых территорий), треть из которых охвачена дренажем. Срок эксплуатации большинства из оросительных систем составляет от 35 до 60 лет (он считается предельным), что негативно сказывается на мелиоративном состоянии земель сельскохозяйственного назначения [2, 3]. Однако столь продолжительное время эксплуатации позволяет установить ошибочные технические решения, применяемые на стадиях проектирования и строительства, а также выбрать вектор последующего совершенствования элементов оросительных систем с дренажем.

В связи с вышесказанным целью данной работы являлся анализ научных литературных источников в области дренажа на орошаемых зем-

лях на предмет выявления приоритетных современных направлений исследований.

Обсуждение. В конце XX в. в течение 20 лет интенсивного орошения земель Поволжья на площади более 33 тыс. га без устройства дренажа произошло превышение допустимого уровня грунтовых вод. В. В. Корсак и другие ученые [4] связывают полученную негативную ситуацию с ошибками при проектировании, в частности, при детальном прогнозе будущего водного режима и эксплуатацией оросительных систем. Предложенное использование горизонтального дренажа на землях Поволжья показало его экономическую эффективность.

На территории Узбекистана орошаемые земли на площади около 560 тыс. га оборудованы вертикальным дренажем, который, по мнению А. Абирова и др. [5, 6], является наиболее эффективным средством борьбы с вторичным засолением за счет понижения уровня грунтовых вод. При этом устройство вертикального дренажа предусматривает наличие металлического фильтрового каркаса, что снижает надежность конструкции за счет коррозионных явлений. Замена материала фильтрового каркаса полиэтиленом позволила снизить эксплуатационные затраты на 20–25 %.

На стадии проектирования производится выбор оптимального вида дренажа исходя из гидрологических, почвенных и антропогенных условий орошаемого массива. По данным Е. Н. Иванова и др. [7, 8], горизонтальный закрытый дренаж имеет наибольшую эффективность из-за меньших эксплуатационных расходов по сравнению с другими типами дренажа.

В работах М. Ф. Гурбанова [9, 10] рассматривается опыт Республики Азербайджан и зарубежья в управлении дренажными системами на разных стадиях жизненного цикла, отмечается, что недоучет гидрогеологических и геоморфологических условий в период проектирования ведет к нарушению требований в регулировании водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель, это приводит к подъему грунтовых вод, росту засоле-

ния, резкому снижению урожайности культурных растений. На засоленных орошаемых землях с малоуклонным рельефом предлагается при совершенствовании дренажа использовать дренаж сифонно-вакуумного действия, обладающий рядом преимуществ перед другими типами.

В работе И. Г. Карайева [11] проводится анализ оптимальных междренних расстояний и изучается осушительное и рассоляющее действие горизонтального открытого дренажа. В результате исследований установлено, что на тяжелых засоленных почвогрунтах работу горизонтального открытого дренажа с междренным расстоянием 200 м можно считать удовлетворительной.

Ряд авторов [12–15] предлагают на мелиоративных системах нового поколения проводить обязательную утилизацию дренажных вод. В. В. Бородычев и др. [15] считают, что утилизацию дренажного стока надо рассматривать как технологический процесс, объединяющий взаимодействия девяти компонентов: персонала, техники, ресурсов, среды, управления, информации, модели, времени, продукта.

И. Н. Горохова и Е. И. Панкова [16] провели анализ состояния орошаемых земель Волгоградской области за период 2001–2021 гг. В качестве исходных данных авторами использовались материалы Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (2001–2018 гг.) и собственных исследований (2020–2021 гг.). В результате исследований установлено, что на фоне сокращения орошаемых земель с 345,2 до 178,8 тыс. га [17] произошло понижение уровня грунтовых вод, однако на площадях с отсутствием дренажа в сложных геоморфолого-литологических условиях наблюдаются значительные участки солонцеватых почв, это требует проведения мелиоративных мероприятий на обширных территориях Волгоградской области.

Э. А. Мамедова и С. А. Алиев [18, 19] приводят результаты анализа мелиоративного состояния почвогрунтов Ширванской степи Азербайджанской Республики и причины их засоления. В результате строительства

горизонтального дренажа на территории проведения исследований выявлено существенное снижение концентрации солей в почве, что привело к повышению продуктивности орошаемых земель и значительному снижению возможных негативных экологических последствий.

С. Ф. Аверьянов [20] полагает, что необходимость строительства дренажа на орошаемых землях обуславливается необходимостью учета прогноза водно-солевого режима и конкретных природно-хозяйственных условий территории. Также автор считает, что при устройстве дренажа ведется борьба с засолением орошаемых земель или недопущение его.

О. К. Комилов и З. Д. Гулов [21] в результате проведения исследований в урочище Ялгыз-Как Юго-Западного Таджикистана с подстилающим слоем карбонатизированных лессовых пород установили, что в течение четырех лет эксплуатации орошаемого участка в зоне неглубокого залегания водоупорных пород образовывались грунтовые воды, минерализация которых находится в прямой зависимости от глубины залегания.

Исследования О. Б. Имамназарова [22] показали, что в аридной зоне при близком залегании к поверхности земли грунтовых вод, характеризующихся как пресные или слабоминерализованные, возможно применение горизонтального дренажа не только для отвода, но и для подвода вод с целью орошения методом субирригации, вместе с тем субирригация применима при дефиците водных ресурсов, в противном случае применяются поверхностные методы орошения.

В Республике Казахстан перспективной орошаемой территорией является Мактааральский массив, площадь которого составляет 154,0 тыс. га, из них более 60 % находится в неудовлетворительном состоянии. А. А. Джумабеков и другие авторы предлагают восстановление потребительских свойств массива посредством совершенствования конструкции дренажа с оптимизацией междренного расстояния и глубины заложения. В результате исследований установлена закономерность в расположении дренажа

на орошаемых землях, при заглублении дрен можно увеличивать расстояние между ними, однако это приводит к неравномерности водного и солевого режимов почвогрунтов на рассматриваемой территории [23].

Н. Т. Тенирбердиев и К. К. Кенжахимов [24, 25] определили шесть мероприятий, направленных на сохранение и улучшение состояния орошаемых земель, наиболее важными из них являются восстановление и новое строительство оросительных и дренажных сетей. В условиях Чуйской долины для отвода вод с засоленных земель рекомендуют применять закрытый горизонтальный дренаж, при этом важно учитывать правильное соотношение междренних расстояний и глубины дрен.

А. Хожиматов и др. [26] обращают внимание на применение в дренажной системе элементов с различным сроком использования, что увеличивает частоту проведения ремонтных работ, а в некоторых случаях доходит и до реконструкции системы в целом. Конструкции дренажных систем с данными свойствами в мелиоративной практике приводят к понижению надежности или прекращению функционирования в рамках обеспечения оптимального гидрологического режима. Предлагается использование восторченных элементов дренажной системы с нормативным сроком эксплуатации, соответствующим нормативному сроку основного элемента, к которому относятся дренажные трубы [27].

Для развития конструктивных решений вертикального дренажа В. А. Тумлерт и др. [28] предлагают устройство беструбного водоподъема, где погружной насос герметично располагается на обсадной трубе, которая используется в качестве напорного трубопровода. Предложенная конструкция снижает металлоемкость, трудоемкость монтажно-ремонтных работ, а также предотвращает загрязнение водоносного горизонта.

По данным Министерства сельского хозяйства Омской области, орошаемых земель насчитывается 79951 га, из них 3626 га оборудованы дренажной сетью. Для изучения водного и солевого балансов орошаемых

земель заложены площадки систематического наблюдения, оборудованные водно-балансовой станцией, участками для изучения гидрохимического стока и влагосолепереноса и солевыми площадками [29]. К тому же предлагается сделать переход в прогнозировании влаго- и солепереноса на использование современных методов и аппаратного обеспечения.

М. Ф. Гурбанов [30, 31] предлагает на орошаемых землях применять известные с 70-х гг. прошлого века вакуумно-дренажные системы, которые от обычного горизонтального дренажа отличаются возможностью регулирования отводимого потока воды. При этом создание вакуума в системе производится тремя методами: удалением воздуха из дрены вакуумным насосом; использованием энергии струи, удаляемой с территории осушения пропуском через инжектор; использованием сифона.

Е. И. Панкова [32] в своих исследованиях, проводимых на территории Средней Азии, пришла к выводу, что использованные методы дренирования в XX в., направленные на создание гидроморфного режима, нельзя считать эффективными. В зависимости от почвенных условий зачастую применение горизонтального дренажа не только способствует отводу солей с вышележащих горизонтов почвы, но и влияет на подъем солей с глубины и из подземных вод. Установлено, что доля выноса солей из глубинных горизонтов может составлять от 20 до 60 % от общего объема, содержащегося в извлекаемом дренажном стоке.

Г. С. Куст и др. [33] на примере Приволжской оросительной системы, расположенной между долинами р. Волга – Большой Иргиз – Еруслан на площади около 30000 га, где орошение большей частью осуществляется дождевальными машинами кругового типа «Фрегат», утверждают, что при наличии часто встречающихся в почвенном покрове солончаков и солонцов и отсутствии искусственной дренажной сети система функционирует без негативных процессов засоления, ученые считают, что данная ситуация обеспечивается естественным оттоком дренажных вод.

В. М. Яшин [34] выделяет влияние коллекторно-дренажной сети на экологические условия, к числу которых относит: изменение качества как поверхности, так и грунтовых вод орошаемых сельхозугодий; интенсификацию массопереноса веществ; изменение качества и объема вод формируемого стока. Также он подчеркивает, что значимое влияние на экологическую ситуацию оказывает сток минерализованных вод из дренажной сети.

Выводы. На основании проведенного анализа научных литературных источников можно сделать следующие выводы:

- недостатки проектирования дренажа, проявившиеся в виде недоучета гидрогеологических и геоморфологических условий, приводят к нарушению водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель и являются причиной подъема уровня грунтовых вод, роста засоления почв, снижения урожайности сельскохозяйственных культур;

- анализ результатов исследований отечественных и зарубежных ученых позволил определить приоритетные направления исследований в области дренажа на орошаемых землях, к ним относятся: оптимизация водного режима и рассоляющего действия дренажа, утилизация дренажного стока, применение дренажных вод для орошения при дефиците водных ресурсов, использование элементов дренажной системы с одинаковым нормативным сроком эксплуатации, уменьшение материалоемкости, установление влияния дренажа на экологическую ситуацию, применение вакуумно-дренажных систем, оптимизация междреннего расстояния и глубины заложения горизонтального дренажа, применение современных методик расчета и методов моделирования.

Список источников

1. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с.
2. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: Геликон, 2013. Ч. 1. 283 с.
3. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография /

В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: Геликон, 2013. Ч. 2. 307 с.

4. Математическое моделирование при проектировании дренажа на орошаемых землях Саратовского Заволжья / В. В. Корсак, О. Н. Митюрева, Р. В. Ершов, А. В. Янюк // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы XI Нац. конф. с междунар. участием. Саратов, 2021. С. 127–131.

5. Абирова А., Садикова У. А., Узакбаева Л. Ф. Конструкция скважин вертикального дренажа из полиэтиленовых труб для улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель // Ирригация и мелиорация. 2018. № 2(12). С. 23–26.

6. Абирова А. Метод подбора гравийно-песчаного фильтра для вертикального дренажа // Ирригация и мелиорация. 2015. № 2. С. 18–22.

7. Иванова Е. Н., Орехова В. И. Оценка технической эффективности работы различных конструкций дренажа на орошаемых землях // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам 76-й Науч.-практ. конф. студентов по итогам НИР за 2020 г., г. Краснодар, 10–30 марта 2021 г. Краснодар: КубГАУ, 2021. Ч. 1. С. 302–305.

8. Павлюченков И. Г., Саркисян В. А., Орехова В. И. Экологическая устойчивость сельскохозяйственных предприятий в РФ // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. тез. по материалам Всерос. (нац.) конф. 2019. С. 474–475.

9. Гурбанов М. Ф. Солевой режим орошаемых земель на фоне сифонно-вакуумного дренажа в условиях малоуклонной местности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Естественные науки. 2017. № 4-1(196-1). С. 104–109.

10. Гурбанов М. Ф. Некоторые гидродинамические показатели дренажа в условиях малоуклонной местности // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 1. С. 35–45. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1061> (дата обращения: 07.03.2023).

11. Карайев И. Г. Осушительное действие дренажа на орошаемых землях // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2016. № 1(29). С. 26–29.

12. Кирейчева Л. В. Дренажные системы на орошаемых землях: прошлое, настоящее, будущее. М.: ВНИИГиМ, 1999. 202 с.

13. Капустян А. С., Пальцев В. П., Щедрина А. В. Очистка и утилизация дренажно-сбросных вод оросительных систем. М.: Мелиоводинформ, 2000. 240 с.

14. Конторович И. И. Концептуальные аспекты решения проблемы утилизации дренажного стока с орошаемых земель // Видовое разнообразие и динамика развития природных и производственных комплексов Нижней Волги / Прикаспийский НИИ аридного земледелия. М.: РАСХН, 2003. С. 148–164.

15. Бородычев В. В., Конторович И. И. Утилизация дренажного стока с орошаемых земель: исходные требования к разработке процесса // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 3(23). С. 83–101. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec430-field6.pdf (дата обращения: 07.03.2023).

16. Горохова И. Н., Панкова Е. И. Изменение мелиоративного состояния орошаемых земель в Волгоградской области за 2001–2018 гг. // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2022. Вып. 110. С. 51–89. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-110-51-89.

17. Горохова И. Н., Панкова Е. И., Харланов В. А. Изменения мелиоративного состояния орошаемых почв Волгоградской области в XXI в. // Почвоведение. 2019. № 3. С. 1–18. DOI: 10.1134/S0032180X19030067.

18. Мамедова Э. А., Алиев С. А. Причины засоления почвогрунтов Ширванской степи Азербайджанской Республики и влияние его на мелиоративное состояние орошаемых земель // Альманах современной науки и образования. 2013. № 3(70). С. 102–104.

19. Алиев С. А. Эколого-мелиоративные проблемы орошаемого земледелия // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 105–110.

20. Аверьянов С. Ф. Управление водным режимом мелиорируемых сельскохозяйственных земель / под общ. ред. Ю. Н. Никольского. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2015. 542 с.

21. Комилов О. К., Гулов З. Д. Строительство закрытых горизонтальных дрен в зоне распространения карбонатизированных лессовых пород (на примере урочища Ялгыз-Как Юго-Западного Таджикистана) // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. № 8. С. 11–15.

22. Имамназаров О. Б. Регулирование мелиоративного режима при орошении методом субиригации // Science Time. 2018. № 7(55). С. 39–43.

23. Режим грунтовых вод на участках открытого горизонтального дренажа на Мактааральском массиве орошения / А. А. Джумабеков, П. У. Буланбаева, А. Е. Серимбетов, М. Мәліктайұлы, М. А. Жүрсинбеков // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2020. № 4(107). С. 21–29.

24. Тенирбердиев Н. Т., Кенжахимов К. К. Причины вторичного засоления орошаемых почв Чуйской долины и пути их улучшения // Евразийское научное объединение. 2020. № 1-6(59). С. 439–442.

25. Кенжахимов К. К., Токтогужоева Т. К. Причины возникновения засоления почвы в Чуйской области // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 4(33). С. 71–79.

26. Обеспечение долговечности закрытого горизонтального дренажа / А. Хожиматов, А. Хакимов, Д. Д. Хусанов, Ф. Х. Абдулхақов // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 12-2(56). С. 133–135.

27. Хожиматов А. В. Обеспечение долговечности соединительных узлов закрытого горизонтального дренажа // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. онлайн-конф., посвящ. 10-летию образования Бух. фил. Ташкент. ин-та инженеров ирригации и механизации сел. хоз-ва. 2020. С. 204–205.

28. Внедрение новой ресурсосберегающей технологии эксплуатации скважин вертикального дренажа на орошаемых массивах Южно-Казахстанской области / В. А. Тумлерт, И. А. Югай, Г. Е. Тельгараева, Е. В. Тумлерт // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 19–21 окт. 2016 г. Т. 2. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. С. 183–188.

29. Клейн Н. А., Сологаев В. И., Фоминых Е. С. О дренированности земель на Новоомской оросительной системе // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014. № 1(13). С. 40–42.

30. Гурбанов М. Ф. Роль дренажа и режима уровня грунтовых вод в регулировании отношений воды и почвы // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 3(23). С. 244–248.

31. Гурбанов М. Ф. Вакуумная дренажная система радиального типа // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 6. С. 47–49.

32. Панкова Е. И. Засоление орошаемых почв Среднеазиатского региона: старые и новые проблемы // Arid Ecosystems. 2016. Т. 22, № 4(69). С. 21–29.

33. Педогеохимическая индикация особенностей устойчивого функционирования Приволжской оросительной системы (Саратовская область) / Г. С. Куст, С. Ю. Розов, Г. В. Стома, П. В. Андреев // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17, № 2(47). С. 5–17.

34. Яшин В. М. Экологические опасности при эксплуатации оросительных систем и мероприятия по их предупреждению и ликвидации // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 6. С. 24–28.

References

1. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii: inform. izd.* [Land Reclamation Complex of the Russian Federation: inform. ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2020, 304 p. (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]. Novochoerkassk, Helikon Publ., pt. 1, 283 p. (In Russian).

3. 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]. Novochoerkassk, Helikon Publ., pt. 2, 307 p. (In Russian).

4. Korsak V.V., Mityureva O.N., Ershov R.V., Yanyuk A.V., 2021. *Matematicheskoe modelirovanie pri proektirovanii drenazha na oroshaemykh zemlyakh Saratovskogo Zavolzh'ya* [Mathematical modeling in the design of drainage on irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region]. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogaz-osnabzheniya i energoobespecheniya: materialy XI Nats. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Modern Problems and Prospects for the Development of Construction, Heat and Gas Supply and Power Supply: Proc. of the XI National Conference with International Participation]. Saratov, pp. 127-131. (In Russian).

5. Abirov A., Sadikova U.A., Uzakbaeva L.F., 2018. *Konstruktsiya skvazhin vertikal'nogo drenazha iz polietilenovykh trub dlya uluchsheniya meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh zemel'* [Design of vertical drain wells of polyethylene pipes for improving the reclamation state of irrigated lands]. *Irrigatsiya i melioratsiya* [Irrigation and Land Reclamation], no. 2(12), pp. 23-26. (In Russian).

6. Abirov A., 2015. *Metod podbora graviyno-peschanogo fil'tra dlya vertikal'nogo drenazha* [The trial method of gravel-sand filter for vertical drainage]. *Irrigatsiya i melioratsiya* [Irrigation and Land Reclamation], no. 2, pp. 18-22. (In Russian).

7. Ivanova E.N., Orekhova V.I., 2021. *Otsenka tekhnicheskoy effektivnosti raboty razlichnykh konstruktsiy drenazha na oroshaemykh zemlyakh* [Evaluation of the technical efficiency of various drainage structures on irrigated lands]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. statey po materialam 76-i Nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov po itogam NIR za 2020 g.* [Scientific Support of Agro-Industrial Complex: Proc. of the 76th Scientific-Practical Student Conference Based on Results of Research for 2020]. Krasnodar, KubGAU, pt. 1, pp. 302-305. (In Russian).

8. Pavlyuchenkov I.G., Sarkisyan V.A., Orekhova V.I., 2019. *Ekologicheskaya ustoychivost' sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy v RF* [Environmental sustainability of agricultural enterprises in the Russian Federation]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. tez. po materialam Vserossiyskoy (natsionalnoy) konferentsii* [Scientific Support of Agro-Industrial Complex: Collection of Abstracts of All-Russian (National) Conference], pp. 474-475. (In Russian).

9. Gurbanov M.F., 2017. *Solevoy rezhim oroshaemykh zemel' na fone sifonno-vakuumnogo drenazha v usloviyakh malouklonnoy mestnosti* [Saline regime of irrigated lands with application of the siphon-vacuum drainage under the condition of the low-grade terrain]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Ser.: Estestvennye nauki* [University News. North Caucasian Region. Natural Sciences Series], no. 4-1(196-1), pp. 104-109. (In Russian).

10. Gurbanov M.F., 2016. [Some hydrodynamic indicators of siphon drainage in the local-

ity with small slopes]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1, pp. 35-45, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1061> [accessed 07.03.2023]. (In Russian).

11. Karayev I.G., 2016. *Osushitel'noe deystvie drenazha na oroshaemykh zemlyakh* [Drainage effect on irrigated lands]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev], no. 1(29), pp. 26-29. (In Russian).

12. Kireycheva L.V., 1999. *Drenazhnye sistemy na oroshaemykh zemlyakh: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Drainage Systems on Irrigated Lands: Past, Present, Future]. Moscow, All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 202 p. (In Russian).

13. Kapustyan A.S., Paltsev V.P., Shchedrina A.V., 2000. *Ochistka i utilizatsiya drenazhno-sbrosnykh vod orositel'nykh sistem* [Purification and Utilization of Drainage Wastewaters of Irrigation Systems]. Moscow, Meliovodininform Publ., 240 p. (In Russian).

14. Kontorovich I.I., 2003. *Kontseptualnye aspekty resheniya problemy utilizatsii drenazhnogo stoka s oroshaemykh zemel* [Conceptual aspects of problem solution of recycling drainage runoff disposal from irrigated lands]. *Vidovoe raznoobrazie i dinamika razvitiya prirodnykh i proizvodstvennykh kompleksov Nizhney Volgi* [The Species Diversity and the Dynamics of Natural and Industrial Complexes Development in the Lower Volga Region]. Caspian Research Institute of Arid Agriculture, Moscow, RAAS Publ., pp. 148-164. (In Russian).

15. Borodychev V.V., Kontorovich I.I., 2016. [Drainage runoff disposal from irrigated lands: basic requirements for design process]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(23), pp. 83-101, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec430-field6.pdf [accessed 07.03.2023]. (In Russian).

16. Gorohova I.N., Pankova E.I., 2022. *Izmenenie meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh zemel' v Volgogradskoy oblasti za 2001–2018 gg.* [Changes in the reclamation status of irrigated lands in Volgograd region for 2001–2018]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Institute Bulletin], iss. 110, pp. 51-89, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-110-51-89. (In Russian).

17. Gorohova I.N., Pankova E.I., Kharlanov V.A., 2019. *Izmeneniya meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh pochv Volgogradskoy oblasti v 21 veke* [Changes in the reclamation status of irrigated soils in Volgograd region in the 21st century]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 3, pp. 1-18, DOI: 10.1134/S0032180X19030067. (In Russian).

18. Mamedova E.A., Aliev S.A., 2013. *Prichiny zasoleniya pochvogruntov Shirvanskoy stepi Azerbaydzhanskoy Respubliki i vliyanie ego na meliorativnoe sostoyanie oroshaemykh zemel'* [The reasons for secondary salination of the Shirvan steppe lands in Azerbaijan and measures for its prevention]. *Al'manakh sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Almanac of Modern Science and Education], no. 3(70), pp. 102-104. (In Russian).

19. Aliev S.A., 2010. *Ekologo-meliorativnye problemy oroshaemogo zemledeliya* [Environmental and reclamation problems in irrigated agriculture]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A Theoretical Research Journal], no. 13, pp. 105-110. (In Russian).

20. Averyanov S.F., 2015. *Upravlenie vodnym rezhimom melioriruemyykh sel'skokhozyaystvennykh zemel'* [Soil Water Management in Reclaimed Agricultural Lands]. Moscow, RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev Publ., 542 p. (In Russian).

21. Komilov O.K., Gulov Z.D., 2018. *Stroitel'stvo zakrytykh gorizont'nykh dren v zone rasprostraneniya karbonatizirovannykh lessovykh porod (na primere urochishcha Yalgyz-Kak Yugo-Zapadnogo Tadzhikistana)* [Construction of closed horizontal drains in the zone of distribution of carbonatized loess rocks (on the example of the Yalgyz-Kak South-Western Tajikistan)]. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana* [Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan], no. 8, pp. 11-15. (In Russian).

22. Imamnazarov O.B., 2018. *Regulirovanie meliorativnogo rezhima pri oroshenii metodom subirrigatsii* [Regulation of Reclamation Regime during Subirrigation]. Science Time, no. 7(55), pp. 39-43. (In Russian).

23. Dzhumabekov A.A., Bulanbayeva P.U., Serimbetov A.E., Maliktayuly M., Zhursinbekov M.A., 2020. *Rezhim gruntovykh vod na uchastkakh otkrytogo gorizontal'nogo drenazha na Maktaaral'skom massive orosheniya* [Groundwater regime in open horizontal drainage areas in the Maktaaral irrigation massif]. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina* [Bulletin of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University], no. 4(107), pp. 21-29. (In Russian).

24. Tenirberdiev N.T., Kenzhakhimov K.K., 2020. *Prichiny vtorichnogo zasoleniya oroshaemykh pochv Chuyskoy doliny i puti ikh uluchsheniya* [Causes of secondary salinization of irrigated soils of the Chui Valley and ways to improve them]. *Evraziyskoe nauchnoe ob"edinenie* [Eurasian Scientific Association], no. 1-6(59), pp. 439-442. (In Russian).

25. Kenzhakhimov K.K., Toktogozhoeva T.K., 2016. *Prichiny vozniknoveniya zasoleniya pochvy v Chuyskoy oblasti* [Causes of soil salinization in the Chui region]. *Nauka vchera, segodnya, zavtra* [Science Yesterday, Today, Tomorrow], no. 4(33), pp. 71-79. (In Russian).

26. Hozhimatov A., Khakimov A., Khusanov D.D., Abdulhaqov F.Kh., 2019. *Obespechenie dolgovechnosti zakrytogo gorizontal'nogo drenazha* [Ensuring the durability of closed horizontal drainage]. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire* [Actual Scientific Research in the Modern World], no. 12-2(56), pp. 133-135. (In Russian).

27. Khozhimatov A.V., 2020. *Obespechenie dolgovechnosti soedinitel'nykh uzlov zakrytogo gorizontal'nogo drenazha* [Ensuring the durability of connecting nodes of closed horizontal drainage]. *Effektivnost' primeneniya innovatsionnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skom i vodnom khozyaystve: sb. nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy onlayn-konferentsii, posvyashchennoy 10-letiyu obrazovaniya Bukh. filiala Tashkentskogo instituta inzhenerov irrigatsii i mekhanizatsii selskogo khozyaystva* [Efficiency of Application of Innovative Technology in Agriculture and Water Industry: Collection of Scientific Papers of International Scientific-Practical Online Conference dedicated to the 10th anniversary of the formation of Bukh. branch of Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization of Agriculture], pp. 204-205. (In Russian).

28. Tumlert V.A., Yugai I.A., Telgaraeva G.E., Tumlert E.V., 2016. *Vnedrenie novoy resursosberegayushchey tekhnologii ekspluatatsii skvazhin vertikal'nogo drenazha na oroshaemykh massivakh Yuzhno-Kazakhstanskoy oblasti* [Introduction of up-to-date resource-saving technology of vertical drainage wells operation in irrigated massifs of the South Kazakhstan region]. *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve. Agrarnaya nauka – sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu Sibiri, Kazakhstana, Mongolii, Belarusi i Bolgarii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnivheskoy konferentsii* [Scientific and Technical Progress in Agricultural Production. Agrarian Science to Agricultural Production in Siberia, Kazakhstan, Mongolia, Belarus and Bulgaria: Proc. of the International Scientific-Technological Conference], vol. 2, Minsk, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for the Mechanization of Agriculture, pp. 183-188. (In Russian).

29. Klein N.A., Sologaev V.I., Fominykh E.S., 2014. *O drenirovannosti zemel' na Novoomskoy orositel'noy sisteme* [About drainage systems of on Novoomskaya irrigating system]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], no. 1(13), pp. 40-42. (In Russian).

30. Gurbanov M.F., 2016. *Rol' drenazha i rezhima urovnya gruntovykh vod v regulirovani otnosheniy vody i pochvy* [Role of drainage and groundwater regime level in regulation of water and soil relationship]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Agricultural Bulletin of Stavropol Region], no. 3(23), pp. 244-248. (In Russian).

31. Gurbanov M.F., 2016. *Vakuumnaya drenazhnaya sistema radial'nogo tipa* [The radial type vacuum drainage system]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 47-49. (In Russian).

32. Pankova E.I., 2016. *Zasolenie oroshaemykh pochv Sredneaziatskogo regiona: starye i novye problemy* [Salinization of irrigated soils in the Central Asian region: old and new issues]. *Arid Ecosystems*, vol. 22, no. 4(69), pp. 21-29. (In Russian).

33. Kust G.S., Rozov S.Yu., Stoma G.V., Andreev P.V., 2011. *Pedogeokhimicheskaya indikatsiya osobennostey ustoychivogo funktsionirovaniya Privolzhskoy orositel'noy sistemy (Saratovskaya oblast')* [Pedogeochemical indication of sustainable land use at the Privolzhskaya irrigation system (Saratov region)]. *Arid Ecosystems*, vol. 17, no. 2(47), pp. 5-17. (In Russian).

34. Yashin V.M., 2018. *Ekologicheskie opasnosti pri ekspluatatsii orositel'nykh sistem i meropriyatiya po ikh preduprezhdeniyu i likvidatsii* [Ecological dangers during irrigation system's operation and preventive and elimination measures]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 24-28. (In Russian).

Информация об авторе

О. В. Воеводин – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, vovteh@yandex.ru, AuthorID: 289574, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>.

Information about the author

O. V. Voevodin – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, vovteh@yandex.ru, AuthorID: 289574, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 22.08.2023; одобрена после рецензирования 24.08.2023;
принята к публикации 06.09.2023.
The article was submitted 22.08.2023; approved after reviewing 24.08.2023; accepted for
publication 06.09.2023.*