

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Научная статья

УДК 626.82.004.652

Цифровая модель для составления графика водоподачи на оросительной сети

Максим Андреевич Мячин¹, Лидия Анатольевна Воеводина²

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

¹maksimmacin753@gmail.com

²rosniipm-lian@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5681-3807>

Аннотация. Цель: разработка цифровой модели поддержки принятия решений для выявления и анализа конфликтов водораспределения на оросительной сети и подготовки обоснованных решений по составлению графика водоподачи. **Материалы и методы.** Для разработки модели использовались программа с открытым кодом QGIS для подготовки корректной картографической основы и программа Excel для выполнения расчетного блока. **Результаты.** При разработке модели была сформирована информационная база модели, включающая несколько взаимосвязанных блоков: картографическую основу QGIS, паспорт полей, паспорт сети, нормативную базу водопотребления, расчетный блок. На основе этих блоков был реализован расчет потребности в воде по каждому полю в виде объема воды, который затем переводился в расход воды. Далее выполнялось агрегирование нагрузок по элементам сети: потребности отдельных полей суммировались по тем каналам, водовыпускам или гидротехническим сооружениям, через которые осуществляется водоподача. Для каждого элемента сети определялась суммарная расчетная нагрузка. После этого суммарная нагрузка сравнивалась с пропускной способностью соответствующего элемента сети. При превышении значения коэффициента загрузки выше единицы такой участок определялся как конфликтный или проблемный, где формировался дефицит пропускной способности. Выявление таких участков является ключевой функцией модели поддержки принятия решений. Важным элементом разработанной модели стала пространственная логика анализа положения полей вдоль канала. Для этого в модель были включены дополнительные показатели: расстояние поля от начала канала, ранжирование по удаленности и группировка по зонам «голова – середина – хвост». **Выводы.** Разработанная модель может использоваться эксплуатирующей организацией как инструмент предварительной оценки водораспределения, снижения конфликтности и повышения эффективности использования ограниченных водных ресурсов, что в конечном итоге способствует оптимизации деятельности эксплуатирующей организации.

Ключевые слова: оросительные системы, гидротехнические сооружения, поддержка принятия решений, модель, управление водораспределением, QGIS

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 28 мая 2026 г.).

Для цитирования: Мячин М. А., Воеводина Л. А. Цифровая модель для составления графика водоподачи на оросительной сети // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 99, № 2. С. 154–165.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION AND HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

A digital model for water supply scheduling in an irrigation network

Maksim A. Myachin¹, Lidiya A. Voyevodina²

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

¹maksimmacin753@gmail.com

²rosniipm-lian@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5681-3807>

Abstract. Purpose: to develop a digital decision support model for identifying and analyzing water distribution conflicts in an irrigation network and preparing informed decisions on water supply scheduling. **Materials and methods.** To develop the model, the open-source QGIS program was used to prepare a correct cartographic base and Excel to execute the calculation block. **Results.** During the development of the model, an information base of the model including several interconnected blocks was formed: the QGIS cartographic base, field passport, network passport, regulatory water consumption base, and calculation block. Based on these blocks, the water demand for each field was calculated as a volume of water, which was then converted into water flow. Next, the loads were aggregated by network elements: the needs of individual fields were summed up by the canals, outlets, or hydraulic structures through which water is supplied. The total estimated load was determined for each network element. After that, the total load was compared with the capacity of the corresponding network element. If the load factor exceeded one, such a section was identified as conflict-ridden or problematic, resulting in a capacity deficit. Identifying such sections is a key function of the decision support model. A key element of the developed model was the spatial logic of analyzing field locations along the canal. To achieve this, additional indicators were included in the model: field distance from the canal's beginning, ranking by distance, and grouping into “head – middle – tail” zones. **Conclusions.** The developed model can be used by the operating organization as a tool for preliminary water distribution assessment, reducing conflicts, and improving the efficient use of limited water resources, ultimately contributing to the optimization of the operating organization's operations.

Keywords: irrigation systems, hydraulic structures, decision support, model, water distribution management, QGIS

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 28, 2026).

For citation: Myachin M. A., Voyevodina L. A. A digital model for water supply scheduling in an irrigation network. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2026;99(2):154–165. (In Russ.).

Введение. В условиях современных вызовов, стоящих перед агропромышленным комплексом (АПК) Российской Федерации, обеспечение продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства становится приоритетной задачей. Ключевую роль в ее решении игра-

ет мелиорация земель, позволяющая нивелировать негативное влияние климатических факторов и значительно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. По данным Росводресурсов, в 2023 г. на нужды орошения было направлено 6031,4 млн м³ воды, что составляет около 12 % от общего объема забора пресной воды в стране¹. Вместе с тем в мелиоративной отрасли сохраняются серьезные проблемы, включая значительные потери водных ресурсов (в среднем до 25 %) и неполное использование потенциала орошаемых земель [1–3].

Остро стоит проблема неравномерного распределения воды, особенно в пиковые периоды, когда возникает потребность одновременного проведения поливов на полях, обслуживаемых в разных частях каналах. В результате водопользователи в начале канала («головные») получают воду в избытке, в то время как до «хвостовых» хозяйств вода не доходит в нужном объеме. Это приводит к спорам между СХТП и претензиям в адрес эксплуатирующей организации, даже если канал работает на пределе своей пропускной способности. Основная причина конфликта: суммарный одновременный расход по заявкам превышает пропускную способность конкретного участка сети.

Для решения обозначенной проблемы предлагается применение цифрового инструментария. Анализ современного состояния применения цифровых технологий в управлении мелиоративным комплексом показал, что создание эффективной цифровой системы управления мелиоративным комплексом требует разработки комплексного решения, сочетающего в себе структурированную базу данных, мощный ГИС-инструментарий для пространственного анализа и визуализации, а также аналитические модули для поддержки принятия оперативных и стратегических решений [4–8].

¹О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Государственный доклад [Электронный ресурс]. М.: Минприроды России, 2024. 707 с. URL: https://mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2023_/ (дата обращения: 06.05.2026).

Цель – разработка цифровой модели поддержки принятия решений для выявления и анализа конфликтов водораспределения на оросительной сети и подготовки обоснованных решений по составлению графика водоподдачи.

Материалы и методы. Для разработки модели использовалась программа с открытым кодом QGIS, зарекомендовавшая себя доступным и гибким инструментарием с огромным количеством плагинов и активным сообществом пользователей, расширяющих ее функционал [9, 10].

На первом этапе была подготовлена корректная картографическая основа в QGIS [11]. Для этого были приведены в порядок контуры полей: исключались задублированные объекты, проверялась целостность геометрии, уточнялась принадлежность каждого поля соответствующему водовыпуску или участку сети. Для каждого поля закреплялись основные атрибуты: хозяйство, возделываемая культура, площадь, идентификатор поля и связь с элементом оросительной сети. Одновременно был подготовлен слой элементов сети: каналы, участки, гидротехнические сооружения и узлы, для которых указывались идентификаторы и, при наличии исходных данных, характеристики по пропускной способности.

Для расчетного блока использовалась программа Excel.

Результаты и обсуждение. Разрабатываемая модель призвана установить потребность мелиорированных полей в воде, сопоставить эту потребность с техническими возможностями оросительной сети и выявить участки, где возникает дефицит пропускной способности. Другими словами, модель позволяет перейти от простого учета мелиорированных земель к практическому инструменту управления водораспределением.

Разработка модели основывалась на том, что конфликт водораспределения возникает не только из-за недостатка общего объема воды, но также вследствие пространственного несовпадения потребностей сельхоз-

товаропроизводителей и технических возможностей конкретных участков сети. Даже при достаточном суммарном лимите воды отдельные каналы, гидротехнические сооружения или водовыпуски могут иметь ограниченную пропускную способность. В результате часть полей может получать воду своевременно, а другая часть – испытывать дефицит, особенно если она расположена в удаленных участках сети или в так называемой «хвостовой» зоне канала.

Для решения данной задачи была сформирована информационная база модели, включающая несколько взаимосвязанных блоков (таблица 1).

Таблица 1 – Информационные блоки в составе разрабатываемой модели

Table 1 – Information blocks in the developed model

Блок данных	Содержание	Назначение в модели
Картографическая основа QGIS	Контуры полей, элементы оросительной сети, водовыпуски, каналы, узлы	Пространственная привязка объектов и определение принадлежности полей элементам сети
Паспорт полей	Хозяйство, культура, площадь, идентификатор поля, водовыпуск	Расчет потребности каждого поля в воде
Паспорт сети	Идентификаторы каналов и ГТС, пропускная способность, связь с полями	Оценка технических ограничений сети
Нормативная база водопотребления	Нормы полива по культурам, расчетные периоды, параметры водоподачи	Определение требуемого объема и расхода воды
Расчетный блок Excel	Формулы потребности, агрегирование расходов, сравнение с пропускной способностью	Выявление конфликтных участков и формирование аналитических выводов

Данные из ГИС были использованы для формирования расчетных таблиц Excel. В модели были созданы три ключевые таблицы.

1 «Паспорт полей», где содержатся сведения о каждом мелиорированном участке: площадь, культура, хозяйство, водовыпуск, принадлежность участку сети.

2 «Паспорт сети», включающий перечень каналов, водовыпусков и гидротехнических сооружений с указанием их пропускной способности.

3 «Нормативная база водопотребления», содержащая расчетные нормы водопотребления для сельскохозяйственных культур.

На основе этих таблиц был реализован расчет потребности в воде по каждому полю. Потребность определялась в виде объема воды, необходимого для полива конкретной культуры на конкретной площади. В общем виде расчет может быть представлен следующим образом:

$$W_{need} = S \times M, \quad (1)$$

где W_{need} – потребность в воде, м³;

S – площадь поля, га;

M – норма водопотребления или поливная норма, м³/га.

Для сопоставления потребности полей с пропускной способностью каналов и сооружений рассчитанный объем переводился в инженерно сопоставимый показатель – расход воды, т. к. технические характеристики сети обычно выражаются в единицах расхода, м³/с:

$$Q_{need} = \frac{W_{need}}{T \times 86400}, \quad (2)$$

где Q_{need} – требуемый расход воды, м³/с;

W_{need} – потребность в воде, м³;

T – продолжительность подачи воды, сут;

86400 – количество секунд в сутках.

Таким образом, модель позволяет перейти от агрономического показателя потребности в воде к инженерному показателю расхода, который может быть напрямую сопоставлен с пропускной способностью оросительной сети.

На третьем этапе выполнялось агрегирование нагрузок по элементам сети. Это означает, что потребности отдельных полей суммировались по тем каналам, водовыпускам или гидротехническим сооружениям, через которые осуществляется их водообеспечение. Для каждого элемента сети определялась суммарная расчетная нагрузка:

$$Q_{load} = \sum Q_{need}, \quad (3)$$

где Q_{load} – суммарная нагрузка на элемент сети, м³/с;

$\sum Q_{need}$ – потребность полей, подключенных к данному элементу сети.

После этого суммарная нагрузка сравнивалась с пропускной способностью соответствующего элемента сети:

$$K_{load} = \frac{Q_{load}}{Q_{cap}}, \quad (4)$$

где K_{load} – коэффициент загрузки элемента сети;

Q_{cap} – пропускная способность элемента сети, м³/с.

Если значение коэффициента загрузки превышает 1, это означает, что расчетная потребность превышает технические возможности данного участка сети. Такой участок определяется как конфликтный или проблемный:

$$Q_{load} > Q_{cap}. \quad (5)$$

В этом случае формируется дефицит пропускной способности:

$$\Delta Q = Q_{load} - Q_{cap}, \quad (6)$$

где ΔQ – величина дефицита пропускной способности, м³/с.

Выявление таких участков является ключевой функцией модели поддержки принятия решений. Она позволяет не только установить факт дефицита, но и определить, где именно он возникает, какие поля формируют основную нагрузку и какие хозяйства могут столкнуться с ограничениями при водоподаче.

Важным элементом разработанной модели стала пространственная логика анализа положения полей вдоль канала. Для этого в модель были включены дополнительные показатели: расстояние поля от начала канала, ранжирование по удаленности и группировка по зонам «голова – середина – хвост». В расчетных таблицах такие показатели могут быть представлены как:

Dist_m – расстояние поля от начала канала, м;

Dist_rank – порядковый ранг поля по удаленности;

Group_НН – принадлежность поля к зоне канала: головная, средняя или хвостовая часть.

Включение данных показателей повышает аналитическую ценность модели, т. к. позволяет учитывать не только суммарную потребность, но и пространственное положение водопользователей. Это особенно важно для оросительных систем, где поля, расположенные в хвостовой части канала, чаще подвержены риску недополучения воды при высокой нагрузке на сеть или при недостаточной пропускной способности отдельных участков.

На основе пространственной логики можно анализировать не только общий дефицит, но и его распределение по зонам сети. Например, если основная часть конфликтных участков приходится на хвостовую часть канала, это может указывать на необходимость корректировки графика водоподачи, ограничения одновременных заявок в головной части или проведения технических мероприятий по повышению пропускной способности отдельных участков.

Разработанная модель выполняет несколько взаимосвязанных аналитических функций.

1 Расчет потребности в воде по каждому полю: модель определяет объем воды и расчетный расход для каждого участка с учетом площади и возделываемой культуры.

2 Агрегирование потребности по элементам сети: потребности отдельных полей суммируются по водовыпускам, каналам и другим элементам оросительной системы.

3 Сравнение потребности с техническими ограничениями: расчетная нагрузка сопоставляется с пропускной способностью элементов сети.

4 Выявление конфликтных участков: определяются каналы, водовыпуски или ГТС, где потребность превышает возможности сети.

5 Оценка пространственного риска водообеспечения: поля анализируются с учетом их положения вдоль канала, что позволяет выявлять потенциально уязвимые зоны.

6 Формирование основы для управленческих решений: на основе расчетов можно обосновывать графики водоподачи, очередность поливов, необходимость перераспределения расходов или модернизации отдельных участков сети.

С помощью модели могут быть приняты следующие управленческие решения:

- корректировка графика подачи воды;
- разделение заявок по времени для снижения одновременной нагрузки;
- ограничение расхода на отдельных водовыпусках;
- приоритетное обеспечение наиболее удаленных или уязвимых участков;
- перераспределение воды между хозяйствами;
- выявление участков сети, требующих ремонта, реконструкции или увеличения пропускной способности;
- подготовка обоснованных решений при возникновении конфликтов между водопользователями.

Выводы. Таким образом, разработанная модель поддержки принятия решений объединяет данные цифровой карты, паспортов полей, характеристик оросительной сети и нормативов водопотребления. В результате становится возможным не только учитывать мелиорированные земли, но и оценивать фактическую нагрузку на оросительную сеть, выявлять «узкие места» и обосновывать решения по управлению водными ресурсами. При поступлении заявок от сельскохозяйственных производителей можно рассчитать суммарную потребность, определить нагрузку на сеть и заранее выявить участки, где возможен дефицит.

Разработанная модель может использоваться эксплуатирующей организацией как инструмент предварительной оценки водораспределения, снижения конфликтности и повышения эффективности использования ограниченных водных ресурсов, что в конечном итоге способствует оптимизации деятельности эксплуатирующей организации.

Список источников

1. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. EDN: NTRFMJ.
2. Рыжаков А. Н., Кузьмичев А. А. Анализ показателей распределения водных ресурсов на орошение в Ростовской области за период 2021–2024 годов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 171–184. EDN: OECFTK.
3. Бабичев А. Н. Мелиоративный комплекс: современное состояние, проблемы и перспективы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 98, № 1. С. 43–56. EDN: DTZOCQ.
4. Веб-ГИС-система для обоснования решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом / Э. Б. Дедова С. Д. Исаева, А. В. Матвеев, Р. М. Шабанов // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 4. С. 47–51. EDN: QWWNQX.
5. Принципы применения информационных технологий при организации и проведении планирования водопользования на оросительных системах / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, И. В. Коржов, В. И. Ольгаренко // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 100–115. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-100-115. EDN: URAPHZ.
6. Матвеев А. В. Программные компоненты веб-ГИС-системы для обоснования решений по управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия // Мелиорация и орошаемое земледелие в решении задач устойчивого развития АПК: сб. ст. / ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2024. С. 139–149. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.50.70.015. EDN: DONHO.
7. Рыжаков А. Н., Кузьмичев А. А., Мартынов Д. В. Разработка геоинформационной базы данных «Понуро-Калининская «Водохозяйственная система» // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 238–249. EDN: YNZVUX.
8. Воеводина Л. А., Мячин М. А. Требования к структуре и функционалу базы данных мелиоративных систем и гидротехнических сооружений // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 4. С. 84–108. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-84-108. EDN: XJHRSC.
9. QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development / M. Rosas-Chavoya, J. L. Gallardo-Salazar, P. M. López-Serrano M., [et al.] // Cuadernos de Investigación Geográfica. 2022. Vol. 48, no. 1, P. 197–213. DOI: 10.18172/cig.5143. EDN: CNGXPW.
10. Graser A., Olaya V. Processing: A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2015. Vol. 4, no. 4. P. 2219–2245. DOI: 10.3390/ijgi4042219.
11. Мячин М. А., Воеводина Л. А. Цифровая карта гидротехнических сооружений и орошаемых участков Пролетарской мелиоративной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 96, № 2. С. 111–122. EDN: MPQSMK.

References

1. Tkachev A.A., Olgarenko I.V., 2021. *Sovremennye problemy v upravlenii vodoraspredeleleniem v magistral'nykh kanalakh orositel'nykh sistem* [Urgent problems of water distribution management. in main canals of irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], vol. 11, no. 2, pp. 1-23, DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23, EDN: NTRFMJ. (In Russian).

2. Ryzhakov A.N., Kuzmichev A.A., 2025. *Analiz pokazateley raspredeleniya vodnykh resursov na orosenie v Rostovskoy oblasti za period 2021–2024 godov* [Analysis of indicators of water resource distribution for irrigation in Rostov region for the period 2021–2024]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 95, no. 1, pp. 171-184, EDN: OECFTK. (In Russian).

3. Babichev A.N., 2026. *Meliorativnyy kompleks: sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy* [Land reclamation complex: current state, problems and prospects]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 98, no. 1, pp. 43-56, EDN: DTZOCQ. (In Russian).

4. Dedova E.B., Isaeva S.D., Matveev A.V., Shabanov R.M., 2024. *Web-GIS-sistema dlya obosnovaniya resheniy po integral'nomu upravleniyu meliorativno-vodokhozyaystvennym kompleksom* [Web GIS system to substantiate decisions on the integrated management of the reclamation and water management complex]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 47-51, EDN: QWWNQX. (In Russian).

5. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Korzhov I.V., Olgarenko V.I., 2024. *Printsipy primeneniya informatsionnykh tekhnologiy pri organizatsii i provedenii planirovaniya vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh* [Principles of using of information technologies in organizing and conducting water use planning in irrigation systems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 3, pp. 100-115, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-100-115, EDN: URAPHZ. (In Russian).

6. Matveev A.V., 2024. *Programmnye komponenty veb-GIS-sistemy dlya obosnovaniya resheniy po upravleniyu meliorativno-vodokhozyaystvennym kompleksom Respubliki Kalmykiya* [Software components of a Web GIS system for substantiating decisions on managing the land reclamation and water management complex of the Republic of Kalmykia]. *Melioratsiya i oroshaemoe zemledelie v reshenii zadach ustoychivogo razvitiya APK: sb. st.* [Land Reclamation and Irrigated Agriculture in Solving Problems of Sustainable Development of the AIC: Coll. Art.]. Moscow, Federal Scientific Center of Hydrometeorology and Metrology named after A. N. Kostyakov, pp. 139-149, DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.50.70.015, EDN: DOHIHO. (In Russian).

7. Ryzhakov A.N., Kuzmichev A.A., Martynov D.V., 2023. *Razrabotka geoinformatsionnoy bazy dannykh «Ponuro-Kalininskaya «Vodokhozyaystvennaya sistema»* [Development of the geoinformation database “Ponuro-Kalininskaya “Water Management System”]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 91, no. 3, pp. 238-249, EDN: YNZVUX. (In Russian).

8. Voevodina L.A., Myachin M.A., 2025. *Trebovaniya k strukture i funktsionalu bazy dannykh meliorativnykh sistem i gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Requirements for database structure and functionality of the reclamation systems and hydraulic structures]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 4, pp. 84-108, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-84-108, EDN: XJHRSC. (In Russian).

9. Rosas-Chavoya M., Gallardo-Salazar J.L., López-Serrano M.P.M., [et al.], 2022. QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol. 48, no. 1, pp. 197-213, DOI: 10.18172/cig.5143, EDN: CNGXPW.

10. Graser A., Olaya V., 2015. Processing: A Python framework for the seamless integration of geoprocessing tools in QGIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 4, no. 4, pp. 2219-2245, DOI: 10.3390/ijgi4042219.

11. Myachin M.A., Voevodina L.A., 2025. *Tsifrovaya karta gidrotekhnicheskikh sooruzheniy i oroshaemykh uchastkov Proletarskoy meliorativnoy sistemy* [Digital map of the hydraulic structures and irrigated areas of the Proletarskaya Land Reclamation System]. *Puti*

povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 96, no. 2, pp. 111-122, EDN: MPQSMK. (In Russian).

Информация об авторах

М. А. Мячин – младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, maksimmacin753@gmail.com;

Л. А. Воеводина – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, rosniiipm-lian@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5681-3807.

Information about the authors

M. A. Myachin – Junior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, maksimmacin753@gmail.com;

L. A. Voyevodina – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, rosniiipm-lian@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5681-3807.

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

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.05.2026; одобрена после рецензирования 27.05.2026; принята к публикации 17.08.2026.

The article was submitted 15.05.2026; approved after reviewing 27.05.2026; accepted for publication 17.08.2026.