

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научная статья

УДК 532.5

Гидродинамическая модель участка реки Малый Тегинь (особенности разработки и анализ результатов)

Таисия Сергеевна Пономаренко¹, Дмитрий Викторович Мартынов²

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

¹ponomarenko.taisia@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2003-1686>

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

Аннотация. **Цель:** описание особенностей подготовки исходных данных при разработке гидродинамической модели и анализ результатов моделирования участка р. Малый Тегинь. **Материалы и методы.** Модель участка р. Малый Тегинь протяженностью 15,5 км разработана в программном комплексе MIKE. Порядок разработки модели предполагает внесение морфометрических, гидрологических и гидродинамических параметров объекта моделирования. Модель разработана с целью определения границ зон затопления при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости, поэтому использованы поперечные сечения как русловой, так и пойменной части, которые отражают характерные участки реки. Гидрологические параметры заданы в виде гидрографов стока различной обеспеченности (1; 3; 5; 10; 25 %) точно (в начале участка) и распределенно по всей протяженности участка. В концевой части участка задан уровень воды соответствующей вероятности. **Результаты.** В результате моделирования в каждом сечении установлены гидравлические параметры потока, максимальные уровни воды, скорости течения, расходы воды и их динамика по всей длине моделируемого участка на заданные вероятности превышения. Установлено, что максимальные значения скорости течения колеблются в интервале от 3,88 до 3,68 м/с, расхода воды – от 418,69 до 51,09 куб. м/с. **Выводы.** В исследовании на примере модели участка р. Малый Тегинь рассмотрены особенности задания морфометрических и гидрологических исходных данных при разработке компьютерной модели водотока. Получены результаты сценарных исследований прохождения максимальных расходов редкой повторяемости на модели участка р. Малый Тегинь, которые представляют практический интерес и могут быть использованы для решения изыскательских задач на неизученных водотоках, в т. ч. при проектировании водоемов для целей орошения.

Ключевые слова: моделирование, поперечные сечения, гидрологические параметры, морфометрические параметры, максимальный расход, водоток

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 19 февраля 2025 г.).

Для цитирования: Пономаренко Т. С., Мартынов Д. В. Гидродинамическая модель участка реки Малый Тегинь (особенности разработки и анализ результатов) // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 211–224.

THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Original article

Hydrodynamic model of the Maly Tegin River section (development features and analysis of results)

Taisiya S. Ponomarenko¹, Dmitry V. Martynov²

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

¹ponomarenko.taisia@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2003-1686>

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

Abstract. Purpose: to describe the features of preparing the initial data for developing a hydrodynamic model and to analyze simulation results of the Maly Tegin River section. **Materials and methods.** The model of the 15.5 km long Maly Tegin River section was developed using the MIKE software package. The procedure for developing the model involves introducing morphometric, hydrological and hydrodynamic parameters of the modeling object. The model was developed to determine the boundaries of flood zones during the passage of high flow of rare frequency; therefore, cross-sections of both the channel and floodplain parts which reflect the characteristic sections of the river were used. The hydrological parameters were specified as runoff hydrographs of varying probability (1; 3; 5; 10; 25 %) at points (at the beginning of the section) and distributed along the entire length of the section. At the end of the section, the water level of the corresponding probability was specified. **Results.** As a result of simulation, the hydraulic parameters of the flow, maximum water levels, flow velocities, water discharges and their dynamics along the entire length of the modeled section for the specified exceedance probabilities were determined in each section. It was found, that the maximum values of the flow velocity fluctuate in the range from 3.88 to 3.68 m/s, water discharge – from 418.69 to 51.09 cubic meters. **Conclusions.** In the study, using the example of a model of the Maly Tegin River section, the features of setting morphometric and hydrological initial data in the development of a computer model of the watercourse are considered. The results of scenario studies of the passage of maximum flows of rare frequency on the model of the Maly Tegin River section were obtained, which are of practical interest and can be used to solve survey problems on unexplored watercourses, including designing reservoirs for irrigation.

Keywords: modeling, cross-sections, hydrological parameters, morphometric parameters, maximum peak flow, watercourse

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 19, 2025).

For citation: Ponomarenko T. S., Martynov D. V. Hydrodynamic model of the Maly Tegin River section (development features and analysis of results). *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;95(1):211–224. (In Russ.).

Введение. Сегодня компьютерное моделирование речных систем является одним из основных инструментов для изучения особенностей их водного режима, в т. ч. для целей орошения. Современные программные

продукты за счет внутреннего функционала позволяют анализировать такие параметры потока, как расход, скорость течения, площадь живого сечения, гидравлический радиус, тем самым упрощая сложные гидравлические расчеты, которые также необходимо выполнять при проектировании и реконструкции различных мелиоративных объектов. Все эти возможности могут быть использованы только при правильном задании исходных морфометрических и гидрологических параметров, что является сложной задачей, с учетом современного состояния сети наблюдений. Тем не менее многолетний опыт работы в данном направлении позволил выявить основные особенности при разработке гидродинамических моделей, при учете которых повышается точность результатов моделирования [1].

Цель работы – описание особенностей подготовки исходных данных при разработке гидродинамической модели и анализ результатов моделирования участка р. Малый Тегинь.

Материалы и методы. Модель участка р. Малый Тегинь протяженностью 15,5 км разработана в программном комплексе MIKE. Река Малый Тегинь – приток первого порядка р. Уруп, имеет смешанный тип водного питания. Особенностью данной реки является высокая извилистость русла (коэффициент извилистости 2,5). Оцифрованный участок русла реки с нанесенными поперечными сечениями представлен на рисунке 1.

Порядок разработки модели предполагает внесение морфометрических, гидрологических и гидродинамических параметров объекта моделирования [2].

Морфометрические параметры условно разделяются на два блока: морфология русла и гидротехнические данные. Морфология русла описывается поперечными сечениями. Минимальное расстояние между поперечными сечениями определяется в зависимости от категории сложности рельефа и поставленной задачи. Точность расчетов повышается при увели-

чении количества сечений, особенно на реках такого типа. В нашем случае данная модель была разработана с целью определения границ зон затопления при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости, поэтому использованы поперечные сечения как русловой, так и пойменной части, которые отражают характерные участки реки. Общее количество поперечных сечений, внесенных в модель, составило 26.

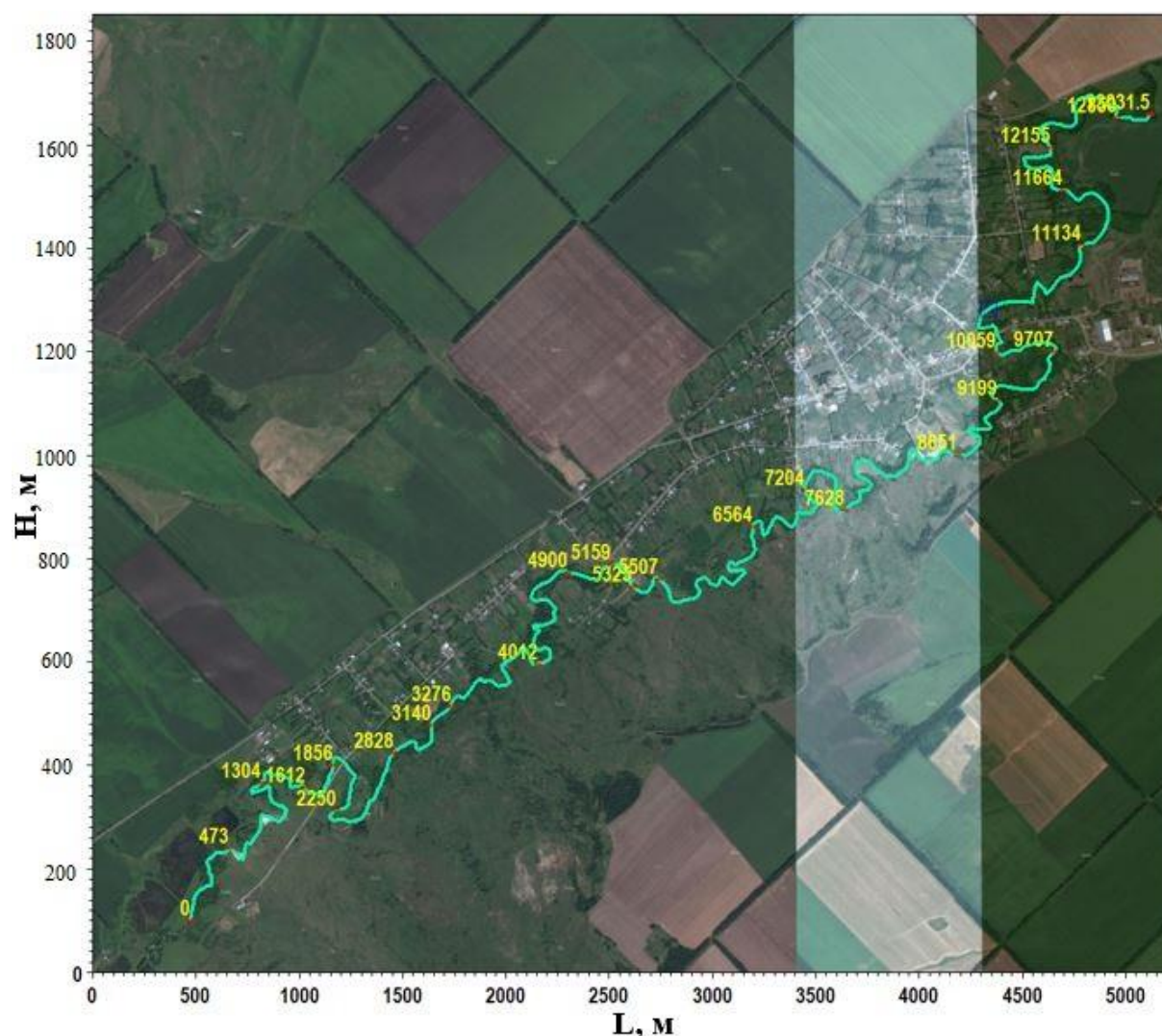


Рисунок 1 – Оцифрованный участок моделирования

Figure 1 – Digitized simulation section

Гидротехнические данные модели – это параметры сооружений, которые расположены на моделируемом участке. Особенности их описания в модели в зависимости от типа сооружения подробно представлены в нашей более ранней работе [1].

На данном участке расположены три автомобильных моста, оказывающих незначительное влияние на пропуск максимальных расходов весеннего половодья. В модель они внесены в виде поперченного сечения, соответствующего форме пролета моста.

Гидрологические данные модели в зависимости от задачи могут быть заданы в виде гидрографов стока, графиков связи расход – уровень, отметок дна [3]. Обязательно нужно учитывать приточность с локальных водосборов, которая может быть задана точечно или распределенно. Точечно задается приточность в случае определения точного местоположения притока. Если сток попадает в водоток равномерно со всей водосборной площади, то следует задавать распределенную приточность. В данной модели гидрологические параметры заданы в виде гидрографов стока на различные обеспеченности (1; 3; 5; 10; 25 %) точечно (в начале участка) и распределенно по всей протяженности участка^{1, 2} [4–6]. В концевой части участка задан уровень воды соответствующей вероятности.

В данном случае стоит подробнее остановиться на методике определения уровня 1 % вероятности для неизученных водотоков при моделировании [7–10]. Так как водоток не изучен, соответственно, гидросты на нем отсутствуют и для получения заданного уровня воды необходимо выполнить пробный расчет с условным уровнем воды, который будет приблизительно соответствовать расчетному. Далее следует визуальную оценку профиля водной поверхности на предмет перепада уровней воды в конце участка и методом интерполяции определить расчетный уровень. В данном случае в качестве условного также может быть использован фактический уровень воды, полученный в результате опроса местных жителей.

¹Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003: утв. Госстроем России 26.12.03. М.: Госстрой России, 2004. 85 с.

²Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 529.1325800.2023: утв. Минстроем России 11.09.23: введ. в действие с 12.10.23. М.: Росстандарт, 2023. 110 с.

Гидродинамические условия описываются коэффициентом шероховатости, который может быть получен по материалам рекогносцировочного обследования реки. На моделируемом участке русло со сравнительно благоприятными условиями течения, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни). Согласно Р 52.24.627-2007 коэффициент шероховатости для русел и пойм принят равным 0,04.

Результаты. В результате получена гидродинамическая модель, на которой проведены сценарные исследования по пропуску расходов редкой повторяемости на заданные вероятности превышения и установлены гидравлические параметры потока (рисунки 2–6), максимальные уровни воды, скорости течения (рисунок 7), расходы воды и их динамика (рисунок 8) по всей длине моделируемого участка.

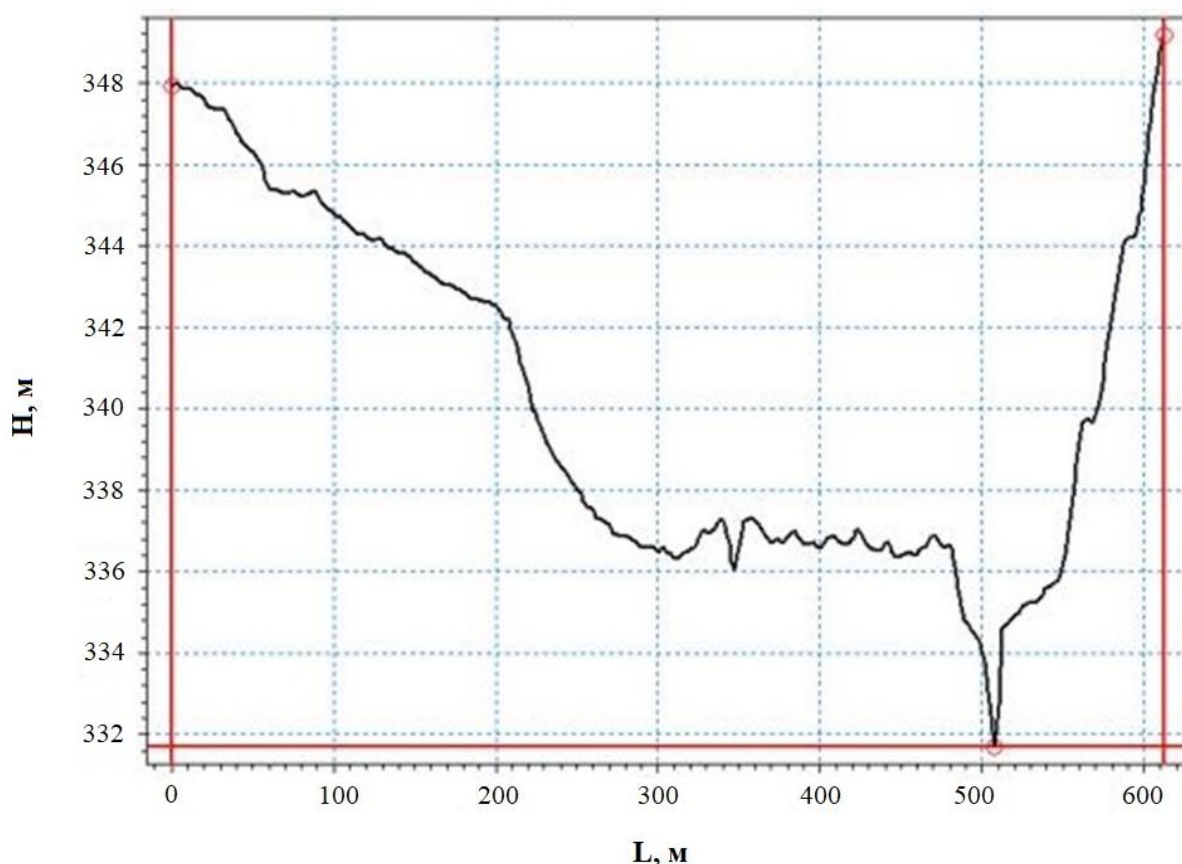


Рисунок 2 – Конфигурация русла в поперечном сечении на ПК 6564

Figure 3 – Live cross-sectional area on PC 6564

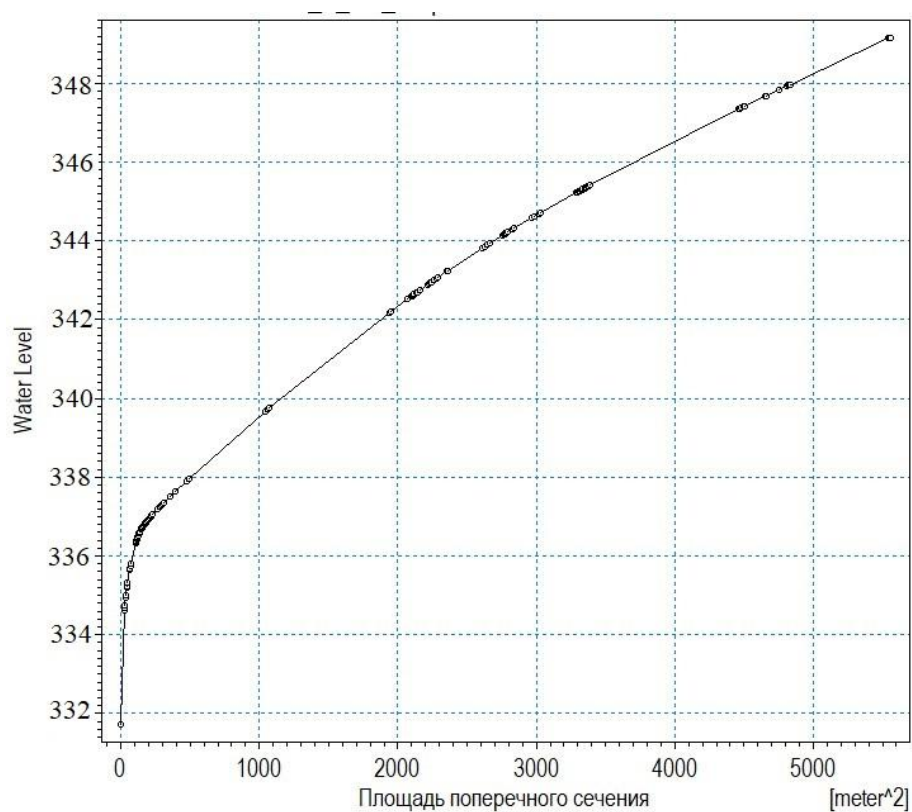


Рисунок 3 – Площадь живого сечения на ПК 6564
Figure 3 – Live cross-sectional area on PC 6564

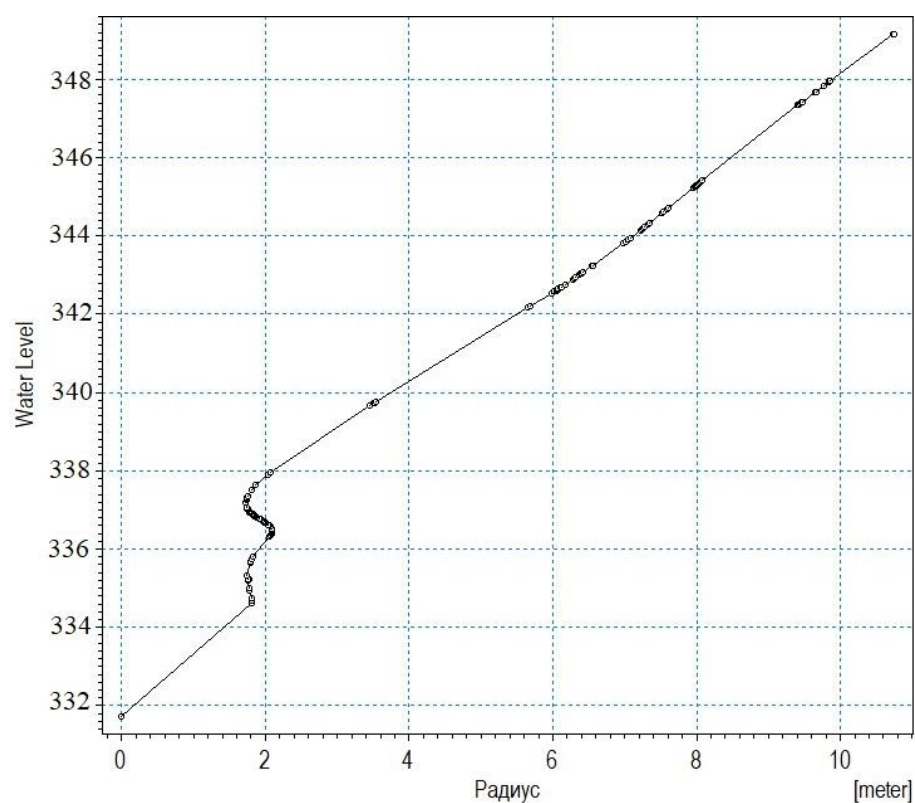


Рисунок 4 – Гидравлический радиус на ПК 6564
Figure 4 – Hydraulic radius on PC 6564

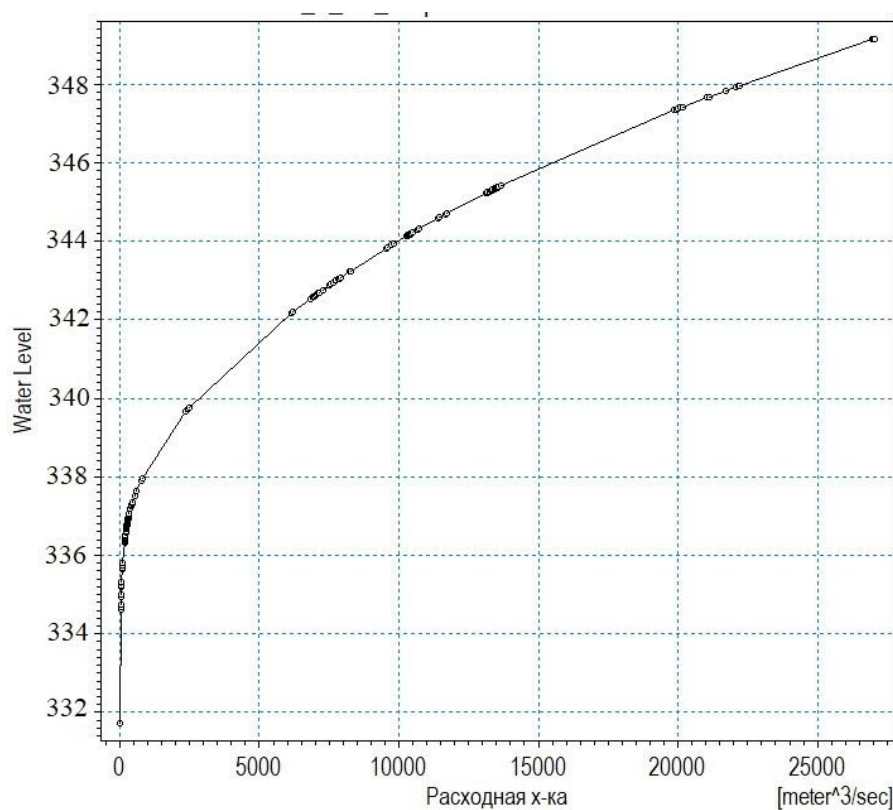


Рисунок 5 – Зависимость «расход – уровень» для ПК 6564
Figure 5 – “Flow rate – level” dependence for PC 6564

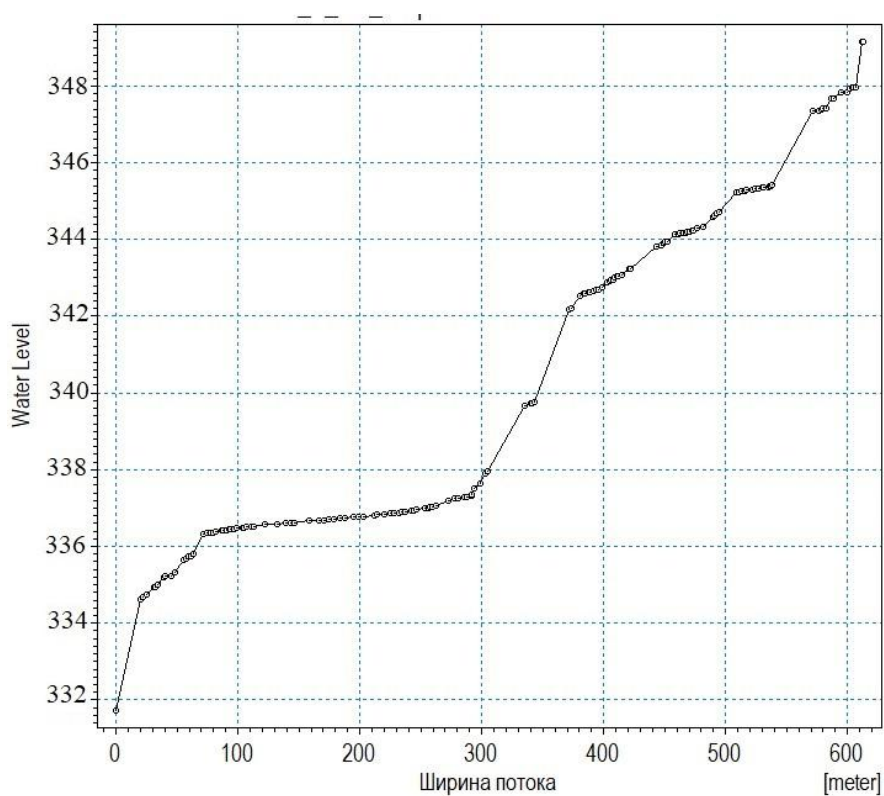


Рисунок 6 – Ширина потока в сечении ПК 6564
Figure 6 – Flow width in the PC 6564 section

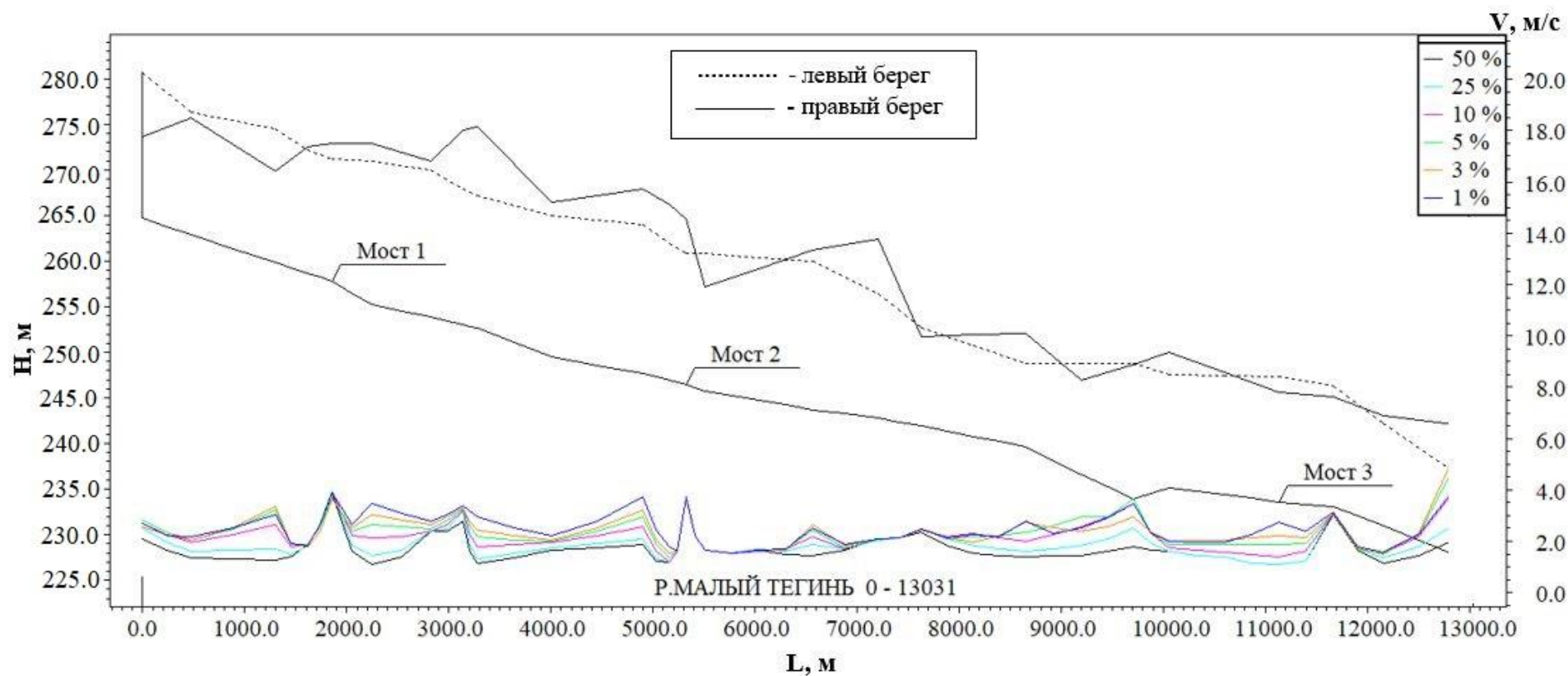


Рисунок 7 – Скорость течения при прохождении максимальных расходов (продольный профиль участка)
 Figure 7 – Flow velocity when passing maximum peak flow (longitudinal profile of the site)

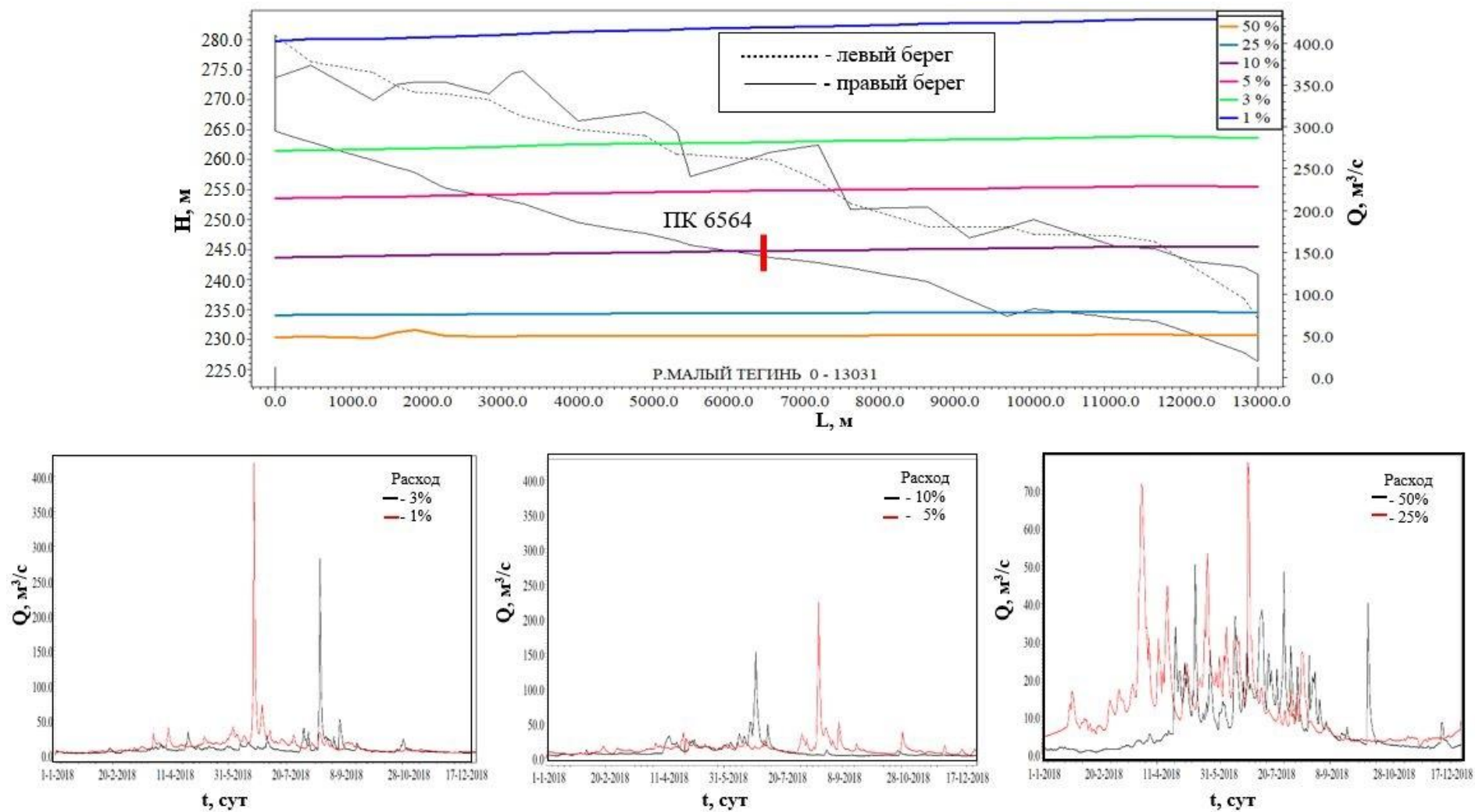


Рисунок 8 – Максимальные расходы воды и графики динамики расходов в поперечном сечении
 Figure 8 – Maximum water flow rates and flow rate dynamics graphs in the cross section

Для решения задачи при определении зон затопления можно выделить ряд параметров, которые стоит анализировать детально:

- продолжительность подъема уровня воды (сут, ч);
- продолжительность максимальных значений уровня воды (сут, ч);
- продолжительность спада максимальных значений уровней воды (сут, ч);
- максимальная скорость течения, м/с;
- максимальный расход, м³/с.

Для данного водотока наибольшая продолжительность подъема уровня воды в 4 сут наблюдается при 1 % обеспеченности, а наименьшая 2 сут при 3 и 50 %. Если рассматривать продолжительность, при которой наблюдаются высокие уровни воды, то при 25 и 50 % обеспеченности она является самой высокой и составляет 9 дней. При этом минимальные показатели по продолжительности будут при 1 % обеспеченности – 1,5 сут. Что касается временного интервала спада максимальных значений, то в данном случае наибольший в 10 дней также наблюдается при 10 и 25 % обеспеченности, а наименьший в 5 сут при 1; 3; 5 и 50 %.

Скорости течения при прохождении максимальных расходов колеблются в интервале от 3,88 до 3,68 м/с, расход воды – от 418,69 до 51,09 м³/с.

Вывод. В представленном исследовании на примере модели участка р. Малый Тегинь рассмотрены особенности внесения в модель морфометрических, гидрологических и гидродинамических исходных данных, которые являются универсальными и также могут быть использованы при разработке моделей мелиоративных каналов и оросительных систем. Проанализированы результаты сценарных исследований прохождения максимальных расходов редкой повторяемости (уровни воды, скорости течения, расходы воды) на гидродинамической модели участка р. Малый Тегинь. В частности, установлено, что максимальные значения скорости течения колеблются в интервале от 3,88 до 3,68 м/с, расхода воды – от 418,69 до

51,09 м³/с. Полученные в результате исследования данные представляют практический интерес и могут быть использованы для решения изыскательских задач на неизученных водотоках, в т. ч. при проектировании водоемов для целей орошения.

Список источников

1. Особенности подготовки исходных данных для разработки компьютерных гидродинамических моделей / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева, С. В. Ковалев, В. А. Сулина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 1(77). С. 14–18. EDN: RXCGMM.
2. Рыжаков А. Н., Пономаренко Т. С. Современные методы получения гидрографических характеристик водотоков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 2(78). С. 34–39. EDN: WOECZS.
3. Борщ С. В., Симонов Ю. А., Христофоров А. В. Прогнозирование стока рек России: монография. М.: Гидрометцентр России, 2023. 200 с. EDN: NDYHGD.
4. Гурбанова Я. К., Овезмырадов О. Гидрологические расчеты // Матрица научного познания. 2023. № 7-1. С. 183–185. EDN: ZHDMBY.
5. Шмидт Т. С. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 444 с.
6. Звягинцева А. В., Сазонова С. А., Кульнева В. В. Определение расчетных гидрологических характеристик при достаточности и недостаточности гидрометрических данных // Академический вестник ELPIT. 2020. Т. 5, № 1(11). С. 5–17. EDN: LYVGKK.
7. Асарин А. Е., Жиркевич А. Н. О необходимости разработки методики расчета вероятного максимального паводка (ПМФ) для инженерно-гидрологических расчетов в России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 53–63. EDN: PBGTDF.
8. Пономаренко Т. С., Бреева А. В. К вопросу автоматизации гидрологических расчетов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 4(84). С. 65–69. EDN: КНХКНА.
9. Виноградова Т. А., Виноградов А. Ю. Гидрология: соотношение теоретической и прикладной гидрологии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2, вып. 2. С. 102–111. <https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.102>. EDN: PFGGVC.
10. Виноградов А. Ю., Догановский А. М., Обязов В. А. Существующие проблемы гидрологических расчетов. Часть 1 // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1, № 1. С. 143–159. DOI: 10.34753/HS.2019.1.1.004. EDN: QEVTPH.

References

1. Ponomarenko T.S., Breeva A.V., Kovalev S.V., Sulina V.A., 2020. *Osobennosti podgotovki iskhodnykh dannykh dlya razrabotki komp'yuternykh gidrodinamicheskikh modeley* [Specific features of preparing the initial data for the development of computer hydrodynamic models]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(77), pp. 14-18, EDN: RXCGMM. (In Russian).
2. Ryzhakov A.N., Ponomarenko T.S., 2020. *Sovremennye metody polucheniya gidrograficheskikh kharakteristik vodotokov* [Modern methods for obtaining hydrographic characteristics of watercourses]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(78), pp. 34-39, EDN: WOECZS. (In Russian).

3. Borsch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V., 2023. *Prognozirovanie stoka rek Rossii: monografiya* [Streamflow Forecasting in Russian Rivers: monograph]. Moscow, Hydro-meteorological Center of Russia Publ., 200 p., EDN: NDYHGD. (In Russian).

4. Gurbanova Ya. K., Ovezmyradov O., 2023. *Gidrologicheskie raschety* [Hydrological calculations]. *Matritsa nauchnogo poznaniya* [Matrix of Scientific Knowledge], no. 7-1, pp. 183-185, EDN: ZHDMBY. (In Russian).

5. Schmidt T.S., 1984. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Handbook on Determining the Calculated Hydrological Characteristics]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 444 p., (In Russian).

6. Zvyagintseva A.V., Sazonova S.A., Kulneva V.V., 2020. *Opredelenie raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik pri dostatochnosti i nedostatochnosti gidrometricheskikh danykh* [Determination of calculated hydrological characteristics with sufficiency and insufficiency of hydrometric data]. *Akademicheskiiy vestnik ELPIT* [ELPIT Academic Bulletin], vol. 5, no. 1(11), pp. 5-17, EDN: LYVGKK. (In Russian).

7. Asarin A.E., Zhirkevich A.N., 2012. *O neobkhodimosti razrabotki metodiki rascheta veroyatnogo maksimal'nogo pavodka (PMF) dlya inzhenerno-gidrologicheskikh raschetov v Rossii* [On the Need to Develop a Methodology for Calculating the Probable Maximum Flood (PMF) for Engineering and Hydrological Calculations in Russia]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management], no. 4, pp. 53-63, EDN: PBGTDF. (In Russian).

8. Ponomarenko T.S., Breeva A.V., 2021. *K voprosu avtomatizatsii gidrologicheskikh raschetov* [On the Issue of Automation of Hydrological Calculations]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(84), pp. 65-69, EDN: KHXXHA. (In Russian).

9. Vinogradova T.A., Vinogradov A.Yu., 2020. *Gidrologiya: sootnoshenie teoreticheskoy i prikladnoy gidrologii* [Hydrology: relationship between theoretical and applied hydrology]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniy* [Hydrosphere. Hazard Processes and Phenomena], vol. 2, iss. 2, pp. 102-111, <https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.102>, EDN: PFGGVC. (In Russian).

10. Vinogradov A.Yu., Doganovsky A.M., Obyazov V.A., 2019. *Sushchestvuyushchie problemy gidrologicheskikh raschetov. Chast' 1* [Existing issues of hydrological calculations. Part 1]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniy* [Hydrosphere. Hazard Processes and Phenomena], vol. 1, no. 1, pp. 143-159, DOI: 10.34753/HS.2019.1.1.004, EDN: QEVTPH (In Russian).

Информация об авторах

Т. С. Пономаренко – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, ponomarenko.taisya@yandex.ru, AuthorID: 619318, ORCID ID: 0000-0002-2003-1686;

Д. В. Мартынов – младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, dimas-8901@rambler.ru, AuthorID: 861395, ORCID ID: 0000-0003-4797-8973.

Information about the authors

T. S. Ponomarenko – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, ponomarenko.taisya@yandex.ru, AuthorID: 619318, ORCID ID: 0000-0002-2003-1686;

D. V. Martynov – Junior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, dimas-8901@rambler.ru, AuthorID: 861395, ORCID ID: 0000-0003-4797-8973.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 211–224.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 95, no. 1. P. 211–224.

*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 10.02.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025;
принята к публикации 24.03.2025.*

*The article was submitted 10.02.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for
publication 24.03.2025.*