

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 626.82:631.672.4.004.65

Применение геоинформационных технологий для повышения эффективности использования водных ресурсов

Алексей Николаевич Рыжаков¹, Таисия Сергеевна Пономаренко²

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

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²rosniipmovpvapk@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2003-1686>

Аннотация. **Цель:** создание структуры геоинформационной базы данных (ГИБД) для выбора оптимального створа пруда на местном стоке. **Материалы и методы.** ГИБД создавалась в программном обеспечении ГИС. Исходными данными были цифровые модели рельефа FABDEM на основе данных дистанционного зондирования земли и результаты воздушно-лазерного сканирования. **Результаты и обсуждение.** В ходе выполняемых работ была разработана структура и сформирована ГИБД для участка двух водотоков (реки и ее притока). В исследовании был приведен пример расчета оптимального створа для пруда на местном стоке типичных маловодных степных водотоков с малыми уклонами и медленным течением. Было рассмотрено 4 расчетных створа на основном водотоке и 3 на притоке. Были получены гидрологические характеристики для каждого створа, произведен расчет параметров проектируемых прудов (проектные отметки дамб, уровень воды, площадь зеркал, объемы воды и земляных работ). Оптимальность выбранного створа определялась исходя из того, где был получен больший объем задержанной воды на 1 м³ земляных работ. Наиболее оптимальным расчетным створом для сооружения дамбы пруда оказался створ 1.4 – 363 м³. Также были получены границы области затопления. **Выводы.** Согласно проведенным расчетам, разработанная ГИБД в сочетании с общепринятыми гидрологическими расчетами позволяет оптимизировать процесс выбора створа плотины для перехвата и аккумуляции водных ресурсов местного стока. Представленная ГИБД позволяет: определить контуры водосбора; получить гидрографическое и гидрологическое описание водотока; произвести предварительный расчет объема работ для наиболее вероятного варианта пруда; получить сведения о границах затопления; сформировать представление о целесообразности и необходимости строительства пруда.

Ключевые слова: орошаемые земли, местный сток, орошение на местном стоке, ГИС, геоинформационная база данных, цифровая модель рельефа

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 10 октября 2025 г.).

Для цитирования: Рыжаков А. Н., Пономаренко Т. С. Применение геоинформационных технологий для повышения эффективности использования водных ресурсов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 138–153.

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

Application of geoinformation technologies for improving the water resources use efficiency

Alexey N. Ryzhakov¹, Taisiya S. Ponomarenko²

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

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²rosniipmovpvapk@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2003-1686>

Abstract. Purpose: to create the geographic information database (GIBD) structure for selecting the optimal pond control station on a local runoff. **Materials and methods.** The GIBD was created in GIS software. The initial data were FABDEM digital terrain models based on remote sensing data and the results of airborne laser scanning. **Results and discussion.** During the work, a structure was developed and a GIBD was formed for a section of two watercourses (a river and its tributary). The study provided an example of calculating the optimal pond control station on a local runoff of typical low-flow steppe watercourses with mild slopes and gentle flow. Four control stations on the main watercourse and three on the tributary were considered. Hydrological characteristics for each control station were obtained, and the parameters of the designed ponds (design elevations of dams, water levels, surface areas, water volumes and earthworks) were calculated. The optimal design of the selected control station was determined based on where the greatest volume of retained water was obtained per 1 m³ of earth work. The most optimal control station for pond dam construction was a control station of 1.4 – 363 m³. The boundaries of the flood zone were also obtained. **Conclusions.** According to the calculations, the developed GIBDS, combined with generally accepted hydrological calculations, makes possible the optimization of the dam control station selection for intercepting and accumulating local runoff water resources. The presented GIBDS allows for the following: determining the watershed contours; obtaining a hydrographic and hydrological watercourse description; preliminary calculation of the scope of work for the most likely pond design; obtaining information on the flood boundaries; and forming an idea on the feasibility and necessity of pond construction.

Keywords: irrigated lands, local runoff, irrigation using local runoff, GIS, geographic information database, digital terrain model

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novocherkassk, October 10, 2025).

For citation: Ryzhakov A. N., Ponomarenko T. S. Application of geoinformation technologies for improving the water resources use efficiency. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;97(3):138–153. (In Russ.).

Введение. В последние годы в России наблюдается устойчивая тенденция к снижению водности рек, озер и подземных источников, обусловленная изменением климата, истощением водоемов и увеличением водопотребления. Это особенно заметно в ключевых аграрных регионах – в Поволжье, на Юге и в Сибири, где сосредоточена значительная часть сельскохозяйственного производства страны. Сокращение доступных водных ресурсов напрямую угрожает стабильности орошаемого земледелия, на которое приходится до 40 % валового сбора зерна. Без достаточного объема воды невозможно обеспечить урожайность культур, необходимую для продовольственной

безопасности¹. Ухудшение гидрологической ситуации усиливает риски импортной зависимости в продовольственной сфере, что противоречит стратегическим целям РФ по самообеспечению. Поэтому сохранение и рациональное использование водных ресурсов становится не просто экологической, но и национальной задачей обеспечения продовольственного суверенитета.

В этой связи особый интерес представляет дополнительная подпитка оросительных систем за счет комбинированного использования водных источников, включающих поверхностный сток. Рассмотрение территорий водосборов, расположенных выше оросительных каналов, позволяет эффективно аккумулировать местный сток, который иначе теряется в естественных руслах или испаряется. Устройство малых водохранилищ на балочной сети этих водосборов создает возможность накопления воды в межсезонье [1–3] и ее целенаправленный выпуск в периоды пикового водопотребления. Такие объекты отличаются низкой стоимостью строительства, минимальным воздействием на экосистемы и быстрой окупаемостью по сравнению с крупными гидротехническими сооружениями. Их внедрение повышает устойчивость орошения, снижает зависимость от централизованных водотоков и усиливает продовольственную безопасность регионов с дефицитом водных ресурсов.

Научные изыскания и разработки в области рационального водопользования ряда видных отечественных ученых [4–9] свидетельствуют о наличии внушительного опыта и большого количества наработок по применению местного стока для ирригации.

К настоящему времени удельный вес местного стока в объеме орошения сократился с 30 до 6 % [10], то есть орошение на местном стоке практически не используется. В Ростовской области, например, площадь орошения на местном стоке к 2020 г. составила лишь 3,1 тыс. га, т. е. 6,3 %

¹Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».

всей фактически политой площади (46,4 тыс. га) [11]. Таким образом, объемы воды существующих в настоящее время прудов в совокупности с незадействованными ресурсами местного стока представляют собой значительный потенциал для развития орошения. Проблема неэффективного использования местного стока становится все более актуальной в условиях растущего дефицита водных ресурсов. Но нельзя забывать и о возможных негативных последствиях его применения [12]. Тем не менее, использование водных ресурсов местного стока, базирующееся на научных подходах, является весьма перспективным, а в засушливых районах страны, где отсутствуют оросительные госсистемы, это и вовсе единственный источник, который можно использовать для орошения [13–15].

Одним из активно развивающихся научных подходов в области управления природными ресурсами и охраны окружающей среды сегодня являются геоинформационные системы (ГИС). Их распространение обусловлено возможностью решать широкий спектр задач, включая проблемы рационального использования природных богатств, в частности водных ресурсов, приводить к снижению экономических издержек, а также предотвращать чрезвычайные ситуации и минимизировать их последствия [16].

Геоинформационные технологии представляют собой действенный инструмент для анализа и визуализации пространственных данных, способный значительно ускорить и улучшить процесс принятия решений при их внедрении и применении.

Проектирование сооружений на малых реках (балках) невозможно без данных о гидрологическом режиме, но получение такой информации часто затруднено из-за недостаточной их изученности [17]. Однако результаты современных исследований в рамках работ по дистанционному зондированию земли, а также доступность использования беспилотных летательных аппаратов в совокупности с технологиями ГИС позволяют в значительной степени упростить получение необходимых данных.

На основе изучения специализированной литературы² и нормативных актов в сфере проектирования прудов³, а также многолетней практической деятельности в области создания геоинформационных баз данных (ГИБД) была разработана структура геоинформационной базы данных для выбора оптимального створа пруда на местном стоке.

Выбор створа для расположения плотины должен основываться на технико-экономическом сравнении различных вариантов, учитывая общее устройство подпорного сооружения, а также топографические, гидрологические и инженерно-геологические условия строительной площадки и требования по охране окружающей среды². Согласно рекомендациям, первоочередными задачами при выборе оптимального створа пруда являются рекогносцировка на местности и гидрологические изыскания. Разработанная структура геоинформационной базы данных и инструменты программного обеспечения (ПО) ГИС позволяют выбрать место створа плотины и получить гидрогеологические характеристики ложа будущего водоема.

Материалы и методы. ГИБД сформирована при помощи ПО ESRI ArcGIS Desktop 10.4.1 на основе растровых (цифровая модель рельефа), векторных (точечные, линейные и полигональные объекты) и табличных данных на основе исходных технических сведений и материалов полевых исследований, выполненных согласно требованиям действующих норм и правил. К этим данным относятся географическое положение объектов, их размеры, а также атрибутивная информация.

²Методические указания по совершенствованию технологий орошения и повышению эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. Ф. Снопич, Г. А. Сенчуков [и др.]. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 147 с. EDN: ХАТСYP.

³Рекомендации по проектированию прудов [Электронный ресурс], утв. Приказом В/О «Союзводпроект» от 06.06.1981 № 78, Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР; «Союзводпроект». М., 1981. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111677> (дата обращения: 22.01.2025).

Результаты и обсуждение. Структура ГИБД формировалась в первую очередь согласно рекомендациям по выбору местоположения пруда. Исходя из этого, осуществлялся сбор следующих сведений.

Растровые объекты: цифровые модели рельефа (ЦМР) водосборов по данным из открытых источников дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и области проектирования по результатам воздушно-лазерного сканирования. Источником данных ДЗЗ является FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM). Данная ЦМР была выбрана, так как она признана в настоящее время более точной в связи с тем, что на ней посредством машинного обучения были удалены деревья и здания [18].

Векторные объекты: речная сеть (линейные объекты) и границы водосборов (полигональные объекты); контуры населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий (полигональные объекты); местоположение створа (точечный объект) и створ проектируемого пруда (линейный объект) для создания профилей фактического состояния и при проектировании дамбы; контуры зеркал проектируемых прудов и границ зон затопления (полигональные объекты).

Структура формирования ГИБД представлена на рисунке 1.

На основе указанных данных инструментами ГИС производятся расчеты, позволяющие получить гидрологические сведения, необходимые как для водохозяйственных расчетов (получение объемов прудов) [10], так и для определения границ зон затоплений. Также в данном блоке подразумевается определение основных характеристик проектируемых прудов для получения соотношения объема земляных работ для строительства дамбы к объему воды в пруду, необходимых для выбора оптимального створа.

Применение разработанной структуры геоинформационной базы данных рассмотрим на конкретном примере в русле притока р. Челбас и примыкающей к ней балки.

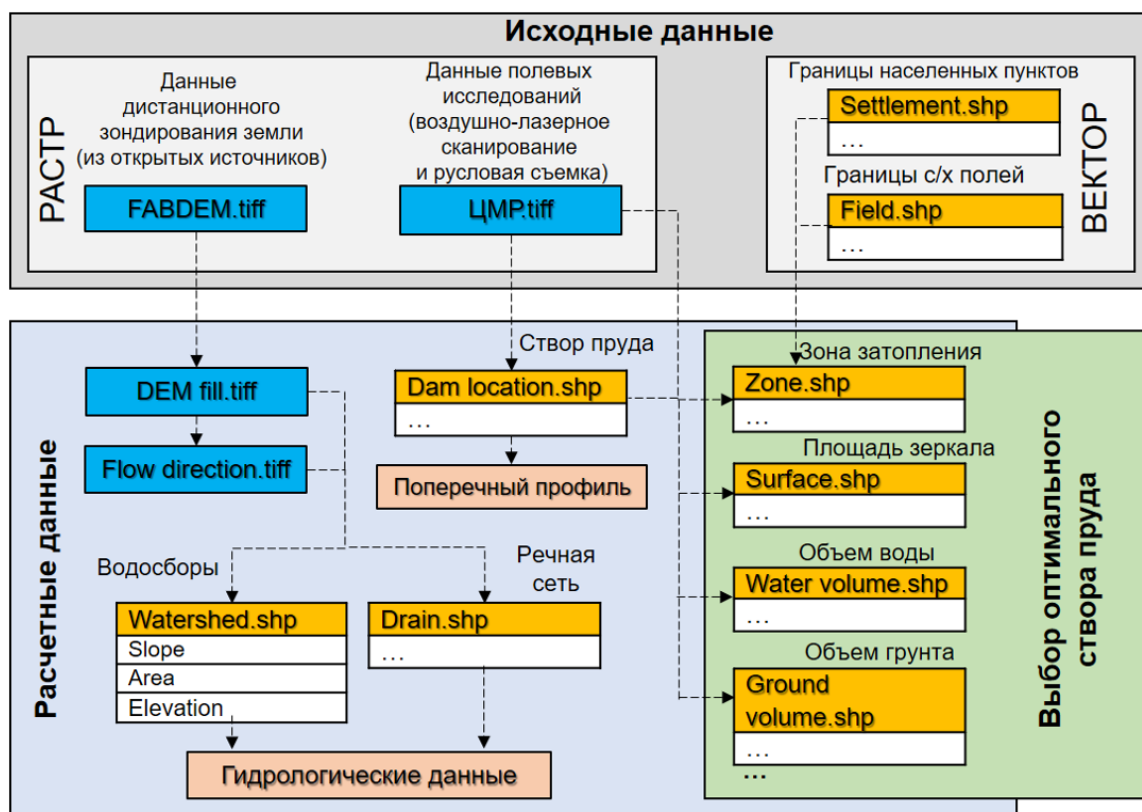


Рисунок 1 – Структура формирования геоинформационной базы данных для выбора оптимального створа пруда на местном стоке
Figure 1 – Structure of the geoinformation database formation for selecting the optimal control station at a local runoff

Исходными данными для рассматриваемого примера являются результаты геодезических, гидрогеологических и гидрометеорологических изысканий, проводимых в рамках производства комплекса работ для подготовки предложений об определении границ зон затопления и подтопления территорий Краснодарского края. Цифровая модель рельефа поймы водотоков была получена в результате воздушно-лазерного сканирования.

Схема расположения расчетных створов приведена на рисунке 2.

Расположение расчетных створов плотин было выбрано согласно основным требованиям рекомендаций: наиболее близкое расположение проектируемого пруда к потребителю; возведение дамбы в самом узком месте балки, чтобы минимизировать объем земляных работ; продольный уклон тальвега в месте устройства пруда не должен превышать 0,005; высота плотины не должна быть выше 15 м.

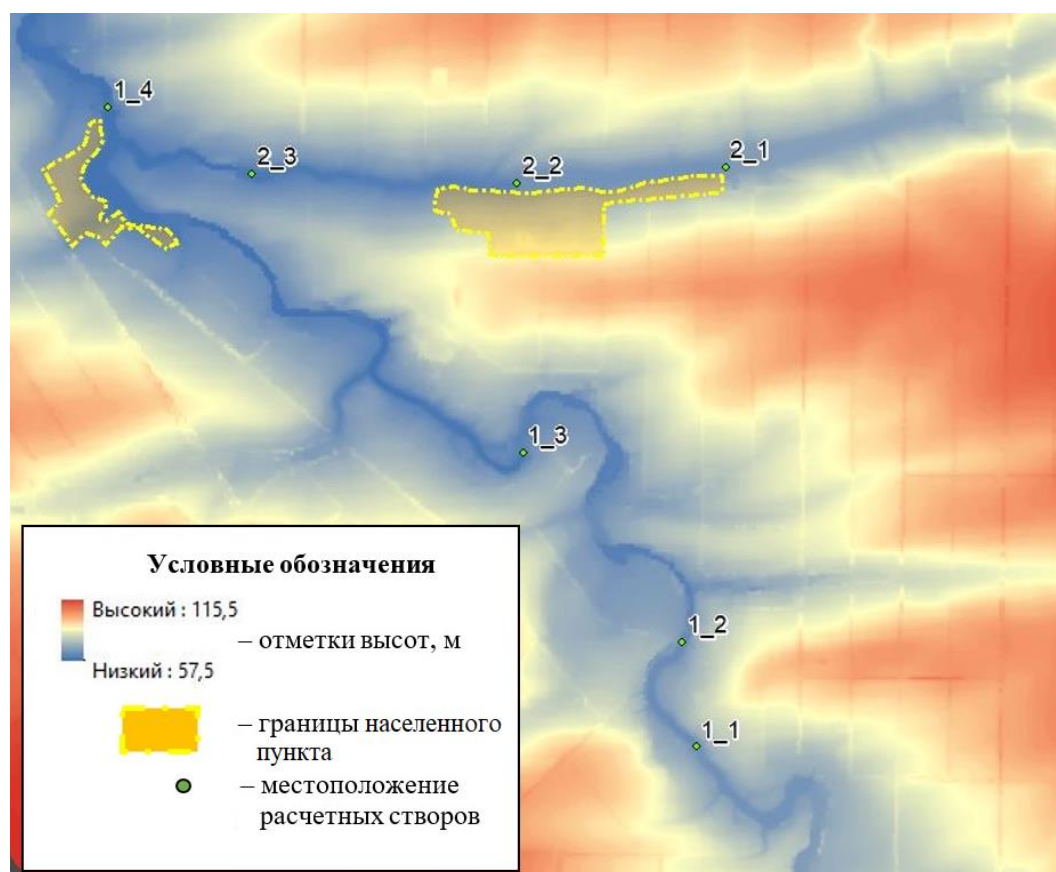


Рисунок 2 – Расположение расчетных створов
Figure 2 – Location of control stations

Схема расположения водосборных площадей по расчетным створам представлена на рисунке 3.

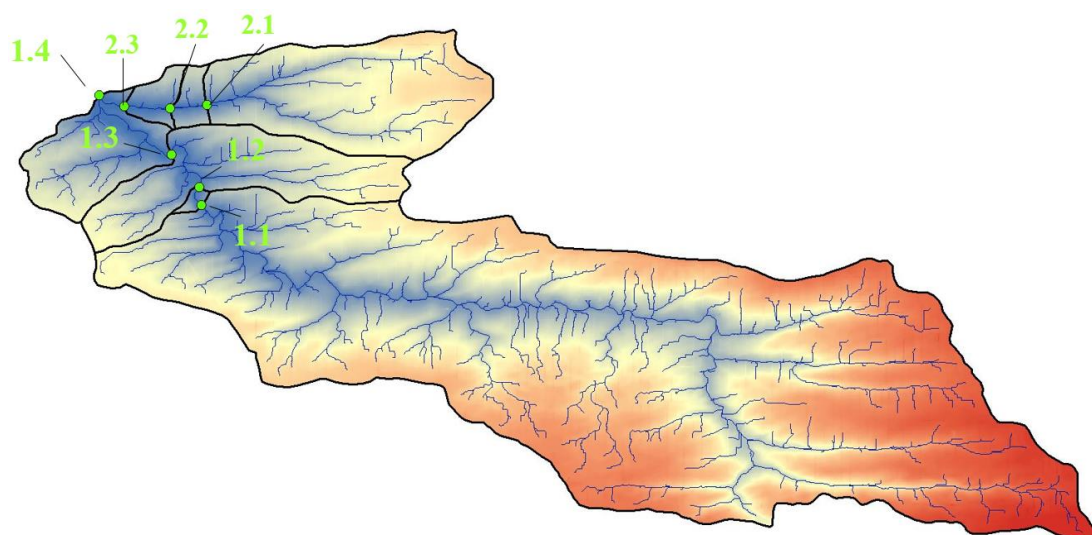


Рисунок 3 – Определение гидрологических характеристик водосборов по расчетным створам
Figure 3 – Determination of hydrological characteristics of watersheds by control stations

Для рассматриваемого устьевого участка характерны следующие гидрологические характеристики. Объект проектирования находится на Азово-Кубанской равнине (гидрографическая сеть относится к бассейну Азовского моря), которая представляет из себя низкую и в основном плоскую аккумулятивную равнину со слабым наклоном к северо-западу [19].

Реки указанного бассейна являются типичными маловодными степными водотоками с малыми уклонами и медленным течением. Весной наблюдается основной сток, а летом – межень. Главным источником питания являются атмосферные осадки и грунтовые воды. Водотоки здесь в основном используются в качестве источника для сельскохозяйственного водоснабжения и орошения, а также для разведения рыбы.

Расчет выполнен на обеспеченность стока $P = 75 \%$.

Оптимальная емкость пруда уточняется сопоставлением стоимости 1 м^3 воды при различных высотах плотины. В примере оптимальность выбранного створа определялась исходя из того, где был получен больший объем задержанной воды на 1 м^3 земляных работ. В результате расчетов для каждого створа методом подбора была определена оптимальная высота плотины. Она определялась из условия, согласно которому отметка гребня дамбы должна возвышаться над уровнем воды в пруду на величину до 2 м.

А затем получены необходимые для сравнения с другими створами характеристики (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Расчет гидрологических характеристик прудов по расчетным створам

Table 1 – Calculation of hydrological characteristics of ponds by control stations

№ створа	Отметка гребня, м	Отметка УВ, м	Объем воды, м^3	Площадь зеркала, м^2	Средняя глубина, м	Площадь водосбора, м^2
1.1	67,9	67,0	301 660,88	238 873,33	1,26	657,625
1.2	67,5	66,0	243 213,53	312 031,49	0,78	596,853
1.3	65,4	64,5	1 298 931,01	604 760,40	2,15	595,293
1.4	61,9	60,5	1 036 578,05	726 667,37	1,43	793,856
2.1	70,4	69,0	267 264,92	380 997,71	0,70	86,6222
2.2	68,3	66,5	298 731,26	332 566,54	0,90	92,2615
2.3	62,4	61,5	114 956,90	154 763,81	0,74	99,3372

Таблица 2 – Расчет параметров прудов и дамб по расчетным створам
Table 2 – Calculation of parameters of ponds and dams by control stations

№ створа	Отметка гребня, м	Объем воды, м ³	Отметка дна пруда, м	Высота плотины, м	Объем насыпи ГТС, м ³	Объем воды на 1 м ³ земли, м ³
1.1	67,9	301 660,88	64,38	3,52	4 396,41	68,62
1.2	67,5	243 213,53	63,21	4,29	6 308,65	38,55
1.3	65,4	1 298 931,01	59,45	5,95	10 443,74	124,37
1.4	61,9	1 036 578,05	57,7	4,2	2 853,76	363,23
2.1	70,4	267 264,92	65,3	5,1	13 798,45	19,37
2.2	68,3	298 731,26	61,8	6,5	21 379,46	13,97
2.3	62,4	114 956,90	59,6	2,8	3 792,71	30,31

Как показали расчеты, исходя из соотношения объема воды на 1 м³ земляных работ, наиболее оптимальным расчетным створом для сооружения дамбы пруда является створ 1.4 – 363 м³.

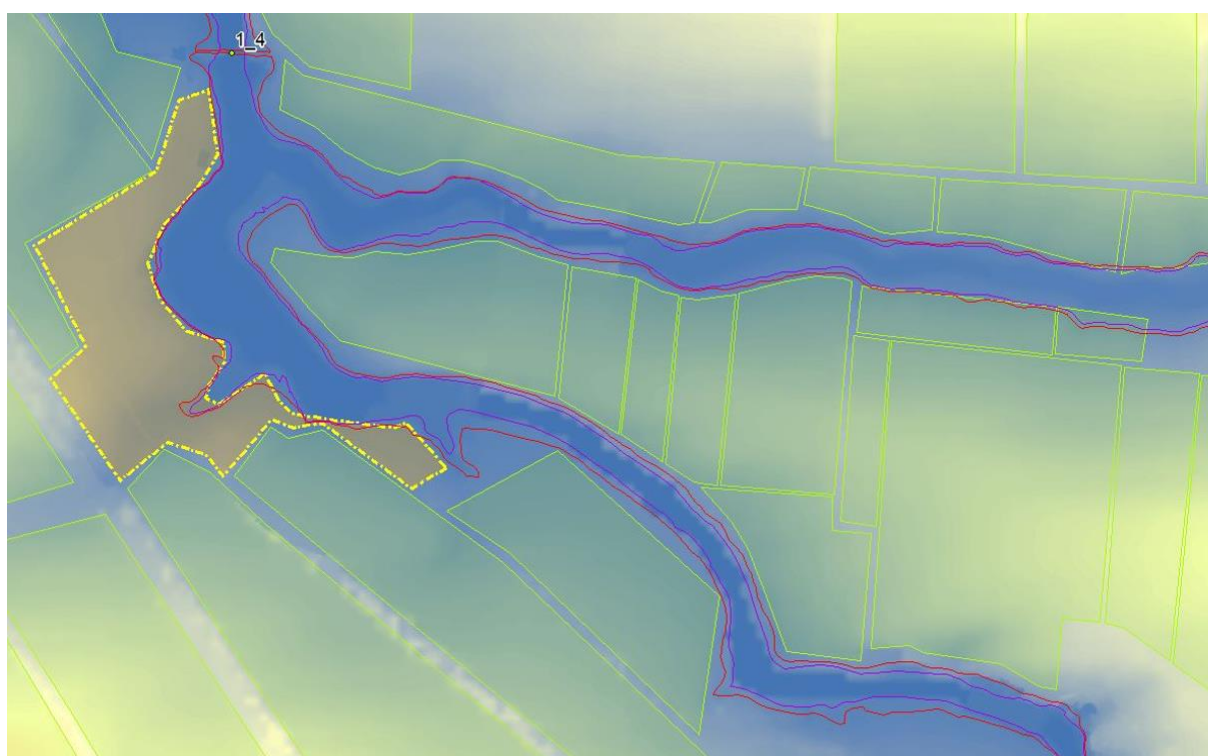
Для анализа влияния проектируемого на участке гидротехнического сооружения при прохождении максимальных расходов однопроцентной вероятности в специализированном программном обеспечении проведены сценарные исследования разработанной гидродинамической модели. Моделирование было проведено по двум сценариям. В первом случае оно проводилось по фактическому состоянию русла, а во втором – с глухой дамбой в расчетном створе.

Потенциальные зоны затопления при данных сценариях приведены на рисунке 4.

По итогам моделирования площадь полученной зоны затопления с исходным руслом составила 2,83 км², а с дамбой – 3,34 км², т. е. на 18 % больше.

Стоит отметить, что согласно рекомендациям, при выборе местоположения пруда необходимо по возможности размещать проектируемый пруд рядом с потенциальными потребителями воды. Но вместе с тем следует располагать его выше по течению относительно поселений, промышленных объектов, скотоводческих ферм, мест захоронений и т. д. В рассматриваемом варианте пруд на створе 1.4 расположен вдоль населенного

пункта, но имеет наиболее оптимальные параметры из расчета соотношения объемов воды и земли (в 3 и более раз по сравнению с другими рассматриваемыми расчетными створами). В тех же рекомендациях указано, что устройство пруда в населенном пункте или ниже при необходимости представляется возможным, хотя и с проведением определенных мероприятий.



Условные обозначения: — границы зоны затопления при фактическом состоянии русла; — границы зоны затопления при наличии глухой плотины
Legend: — flood zone boundaries for the actual riverbed condition; — flood zone boundaries in the presence of a non-overflow dam

Рисунок 4 – Схема распространения границ зон затопления при паводке 1 %-й обеспеченности на расчетном створе 1.4

Figure 4 – Flood zone boundary distribution diagram for a 1 % flood at control station 1.4

Вывод. Согласно проведенным расчетам, предлагаемый способ вычисления объемов воды и земляных работ с использованием инструментов ГИС при создании ГИБД в сочетании с общепринятыми гидрологическими расчетами позволяет оптимизировать процесс выбора створа плотины для перехвата и аккумуляции водных ресурсов местного стока в целях использования их, в том числе при проектировании участков орошения.

Представленная геоинформационная база данных для выбора оптимального створа пруда на местном стоке позволяет сделать следующее: получить водосборные площади по створам проектируемых прудов; составить гидрологическое описание водного объекта и произвести расчеты гидрографических характеристик; рассчитать предварительные объемы работ и перехватываемых объемов воды; получить сведения о границах затопления или подтопления полезных земель; сформировать представление о целесообразности и необходимости строительства пруда, его экономической эффективности и другие сведения.

В целом дополнительная подпитка оросительных систем за счет аккумулялирования местного стока в малых водохранилищах на балочных водосборах представляет собой экономически эффективное и экологически устойчивое решение для компенсации снижения водности природных водных объектов. Внедрение таких мер усиливает устойчивость сельского хозяйства, обеспечивает надежную подачу воды для орошения и напрямую способствует достижению продовольственной безопасности РФ в условиях климатических вызовов.

Список источников

1. Акпасов А. П., Туктаров Р. Б., Греков Д. А. Практические методы водохозяйственного расчета поверхностного водоисточника на местном стоке при строительстве локального участка орошения // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7, № 7. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_7_437. EDN: IWRWJP.
2. Васильева Е. В. Повышение эффективности орошения на местном стоке, аккумулялированном в балках низконапорными плотинами с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 106. С. 917–926. EDN: TKLWNT.
3. Прокопец Р. В., Никишанов А. Н., Аржанухина Е. В. // Использование пруда на балке Бондаренкова в УНПО «Муммовское» Вавиловского университета для орошения // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы XIV Нац. конф. с междунар. участием, Саратов, 25–26 апр. 2024 г. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2024. С. 339–342. EDN: KZQJME.
4. Щедрин В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы. М.: Мелиоводинформ, 2004. 255 с. EDN: TJITXB.
5. Гуревич Е. В., Марков М. Л. Характеристика минимального стока рек в бассейне р. Кубань // Метеорология и гидрология. 2019. № 9. С. 66–76. EDN: SQKEWJ.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 138–153.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 97, no. 3. P. 138–153.

6. Оценка современных изменений максимального стока рек России / В. Ю. Георгиевский, Е. А. Грек, Е. Н. Грек, А. Г. Лобанова, Т. Г. Молчанова // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 46–55. EDN: MNDPEJ.

7. Григоров М. С., Григоров С. М. Способы, техника полива и режимы орошения сельскохозяйственных культур в различных регионах России. М.: Рос. акад. с.-х. наук, 2007. 286 с.

8. Половодье на Нижней Волге и оптимальное природопользование / И. П. Кружилин, В. В. Мелихов, П. И. Кузнецов, А. Г. Болотин, В. Ф. Мамин // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 2. С. 18–22. EDN: KVBVIZ.

9. Мелиорация естественных лиманов Заволжья / Б. И. Туктаров [и др.]. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2002. 124 с.

10. Пономаренко Т. С., Бреева А. В. Обоснование орошения дополнительных площадей на местном стоке за счет автоматизации гидрологических расчетов // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 2. С. 100–113. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-100-113. EDN: BICGVI.

11. Рыжаков А. Н., Мартынов Д. В. Анализ факторов, влияющих на востребованность развития орошения в Ростовской области // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 3(87). С. 35–41. EDN: EGEONW.

12. Мельник, К. В., Владимиров С. А. Последствия орошения на местном стоке черноземов степной зоны Кубани // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов (шифр – МКАП 5): сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 11 окт. 2021 г. Москва: Институт развития образования и консалтинга, 2021. С. 71–74. EDN: EWKGDA.

13. Гостищев В. Д. Перспективы использования местного стока в республике Крым // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 143–146. EDN: YZKKEV.

14. Иваненко Т. А., Садыкова Г. Э., Скосарь Д. С. Проблемы использования водных ресурсов Нижнегорского района республики Крым // Экономика строительства и природопользования. 2021. № 2(79). С. 134–138. DOI: 10.37279/2519-4453-2021-2-134-138. EDN: ZBAPNB.

15. Современное состояние и перспективы развития орошаемого земледелия в Республике Башкортостан / А. В. Комиссаров, А. Р. Хафизов, М. Г. Ишбулатов, А. Ф. Хазипова // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 1. С. 22–26. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-22-26. EDN: GINEJU.

16. Пьянков С. В., Соболева Е. Б., Шавнина Ю. Н. ГИС «Гидротехнические сооружения Пермского края» для принятия управленческих решений по обеспечению безопасности населения от вредного воздействия вод // ГЕО-Сибирь. 2006. Т. 1. № 1. С. 156–158. EDN: PIINNR.

17. Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д., Кузьмичев А. А. Пути совершенствования технологии орошения с использованием местного стока (обзор) // Научный журнал РосНИИПМ. 2014. № 1(13). С. 168–179. EDN: RXQUXF.

18. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed / L. Hawker, P. Uhe, L. Paulo, J. Sosa, J. Savage, C. Sampson, J. Neal // Environmental Research Letters. 2022. Vol. 17. № 2. P. 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f. EDN: AUPPCR.

19. Мамась Н. Н., Прудников А. А. Зарегулированность стока равнинной территории Краснодарского края // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 95. С. 295–309. EDN: RVEYIP.

References

1. Akpasov A.P., Tuktarov R.B., Grekov D.A., 2022. *Prakticheskie metody vodokhozyaystvennogo rascheta poverkhnostnogo vodoistochnika na mestnom stoke pri stroitel'stve lokal'nogo uchastka orosheniya* [Practical methods of water management calculation of a surface water source based on local runoff during the construction of a local irrigation site]. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], vol. 7, no. 7, DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_7_437, EDN: IWRWJP. (In Russian).
2. Vasilyeva E.V., 2015. *Povyshenie effektivnosti orosheniya na mestnom stoke, akumulirovannom v balkakh nizkonapornymi plotinami s uluchshennymi ekspluatatsionnymi kharakteristikami* [Improving the efficiency of irrigation using local runoff accumulated in gullies by low-head dams with improved performance characteristics]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University], no. 106, pp. 917-926, EDN: TKLWNT. (In Russian).
3. Prokopets R.V., Nikishanov A.N., Arzhanukhina E.V., 2024. *Ispol'zovanie pruda na balke Bondarenkova v UNPO «Mummovskoe» Vavilovskogo universiteta dlya orosheniya* [The use of the pond on Bondarenkov's beam in the UNPO "Mummovskoye" of Vavilov University for irrigation]. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya: materialy XIV Natsionalnoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Current problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceed. of the XIV National Conference with International Participation]. Saratov, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, pp. 339-342, EDN: KZQJME. (In Russian).
4. Shchedrin V.N., 2004. *Oroshenie segodnya: problemy i perspektivy* [Irrigation Today: Problems and Prospects]. Moscow, Meliovodinform Publ., 255 p., EDN: TJITXB. (In Russian).
5. Gurevich E.V., Markov M.L., 2019. *Kharakteristika minimal'nogo stoka rek v bassejny r. Kuban'* [Characteristics of minimum river runoff in the Kuban River basin]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 9, pp. 66-76, EDN: SQKEWJ. (In Russian).
6. Georgievsky V.Yu., Grek E.A., Grek E.N., Lobanova A.G., Molchanova T.G., 2019. *Otsenka sovremennykh izmeneniy maksimal'nogo stoka rek Rossii* [Assessment of modern changes in the maximum river flow in Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 11, pp. 46-55, EDN: MNDPEJ. (In Russian).
7. Grigorov M.S., Grigorov S.M., 2007. *Sposoby, tekhnika poliva i rezhimy orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v razlichnykh regionakh Rossii* [Methods, Irrigation Technique and Irrigation Regimes for Agricultural Crops in Various Regions of Russia]. Moscow, Russian Academy of Agricultural Sciences, 286 p. (In Russian).
8. Kruzhilin I.P., Melikhov V.V., Kuznetsov P.I., Bolotin A.G., Mamin V.F., 2008. *Polovod'ye na Nizhney Volge i optimal'noe prirodopol'zovanie* [Flood on the Lower Volga and optimal nature management]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 2, pp. 18-22, EDN: KVBIZ. (In Russian).
9. Tuktarov B.I. [et al.], 2002. *Melioratsiya estestvennykh limanov Zavolzh'ya* [Land Reclamation of Natural Estuaries of the Trans-Volga Region]. Saratov, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, 124 p. (In Russian).
10. Ponomarenko T.S., Breeva A.V., 2022. *Obosnovanie orosheniya dopolnitel'nykh ploschadey na mestnom stoke za schet avtomatizatsii gidrologicheskikh raschetov* [Substantiation of irrigating additional areas at the local runoff due to the hydrologic computation automating]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 4, no. 2, pp. 100-113, DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-100-113, EDN: BICGVI. (In Russian).
11. Ryzhakov A.N., Martynov D.V., 2022. *Analiz faktorov, vliyayushchikh na vostre-*

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 138–153.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 97, no. 3. P. 138–153.

bovannost' razvitiya orosheniya v Rostovskoy oblasti [Analysis of factors affecting the demand on irrigation development in the Rostov region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(87), pp. 35-41, EDN: EGEONW. (In Russian).

12. Melnik K.V., Vladimirov S.A., 2021. *Posledstviya orosheniya na mestnom stoke chernozemov stepnoy zony Kubani* [Consequences of irrigation on the local runoff of chernozems in the steppe zone of Kuban]. *Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniya v usloviyakh sovremennykh vyzovov (shifr – MKAP 5): sb. materialov V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Actual Problems of Science and Education in the Context of Modern Challenges (code – MKAP 5): collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference]*. Moscow, Institute for Education Development and Consulting, pp. 71-74, EDN: EWKGDA. (In Russian).

13. Gostishchev V.D., 2017. *Perspektivy ispol'zovaniya mestnogo stoka v respublike Krym* [Prospects for using local runoff in the Republic of Crimea]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 143-146, EDN: YZKKEV. (In Russian).

14. Ivanenko T.A., Sadykova G.E., Skosar D.S., 2021. *Problemy ispol'zovaniya vodnykh resursov Nizhnegorskogo rayona respubliki Krym* [Problems of water resources use in Nizhnegorsk district of the Republic of Crimea]. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya* [Economics of Construction and Nature Management], no. 2(79), pp. 134-138, DOI: 10.37279/2519-4453-2021-2-134-138, EDN: ZBAPHB. (In Russian).

15. Komissarov A.V., Khafizov A.R., Ishbulatov M.G., Khazipova A.F., 2022. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya oroshaemogo zemledeliya v Respublike Bashkortostan* [The current state and prospects of irrigated agriculture in the Republic of Bashkortostan]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 1, pp. 22-26, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-22-26, EDN: GINEJU. (In Russian).

16. Pyankov S.V., Soboleva E.B., Shavnina Yu.N., 2006. *GIS «Gidrotekhnicheskie sooruzheniya Permskogo kraya» dlya prinyatiya upravlencheskikh resheniy po obespecheniyu bezopasnosti naseleniya ot vrednogo vozhdeystviya vod* [GIS “Hydraulic Structures of Perm Territory” for making management decisions to ensure the safety of the population from the harmful effects of water]. *GEO-Sibir' [GEO-Siberia]*, vol. 1, no. 1, pp. 156-158, EDN: PIINNR. (In Russian).

17. Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Kuzmichev A.A., 2014. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologii orosheniya s ispol'zovaniem mestnogo stoka (obzor)* [Ways of Improving irrigation technology using local runoff (review)]. *Nauchnyy zhurnal RosNIIPM* [Scientific Journal RosNIIPM], no. 1(13), pp. 168-179, EDN: RXQUXF. (In Russian).

18. Hawker L., Uhe P., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C., Neal J., 2022. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, vol. 17, no. 2, P. 024016, DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f, EDN: AUPPCP.

19. Mamas' N.N., Prudnikov A.A., 2014. *Zaregulirovannost' stoka ravninnoy territorii Krasnodarskogo kraya* [Runoff regulation of Plain Krasnodar Territory]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University], no. 95, pp. 295-309, EDN: RVEYIP. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Рыжаков – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, xrust.89@bk.ru, AuthorID: 784962, ORCID ID: 0000-0002-9268-255X;

Т. С. Пономаренко – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россий-

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 138–153.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 97, no. 3. P. 138–153.

ская Федерация, ponomarenko.taisya@yandex.ru, AuthorID: 619318, ORCID ID: 0000-0002-2003-1686.

Information about the authors

A. N. Ryzhakov – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, xrust.89@bk.ru, AuthorID: 784962, ORCID ID: 0000-0002-9268-255X;

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

Вклад авторов: А. Н. Рыжаков произвел обзор источников, собрал и обработал данные, проанализировал результаты, написал статью. Т. С. Пономаренко произвела обзор источников, собрала и обработала данные, участвовала в написании статьи.

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

Contribution of the authors: A. N. Ryzhakov reviewed the sources, collected and processed the data, analyzed the results and wrote the article. T. S. Ponomarenko reviewed the sources, collected and processed the data and participated in writing the 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 17.09.2025; одобрена после рецензирования 06.10.2025; принята к публикации 27.10.2025.

The article was submitted 17.09.2025; approved after reviewing 06.10.2025; accepted for publication 27.10.2025.