

Научная статья

Original article

УДК 519.876.5

DOI 10.55186/25880209\_2024\_8\_6\_9

**АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРУДА МЕЛИОРАТИВНОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЕГО БАТИГРАФИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК**

**ANALYSIS OF THE DIGITAL TWIN OF THE RECLAMATION POND IN  
ASSESSING ITS BATHYGRAPHIC CHARACTERISTICS**



**Зверьков Михаил Сергеевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Радуга» (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, [rad\\_sc@bk.ru](mailto:rad_sc@bk.ru)

**Брыль Сергей Валерьевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Радуга» (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, [Bryl\\_Sv@mail.ru](mailto:Bryl_Sv@mail.ru)

**Zverkov Mikhail Sergeevich**, candidate of technical sciences, leading researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, [rad\\_sc@bk.ru](mailto:rad_sc@bk.ru)

**Bryl Sergei Valerevich**, candidate of technical sciences, leading researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, [Bryl\\_Sv@mail.ru](mailto:Bryl_Sv@mail.ru)

**Аннотация.** Цель настоящего исследования заключалась в оценке возможности использования цифрового двойника пруда мелиоративного назначения для определения его батиграфических характеристик при его технико-экологическом обследовании. Научно-практическая значимость исследования заключается в том, что результаты работ наглядно иллюстрируют возможности использования геоинформационных моделей водных объектов при решении задач цифровой мелиорации, в частности при оценке и анализе динамики изменений его технико-экологического состояния. В результате технико-экологического обследования пруда и ретроспективного анализа его состояния по проектным данным за 2023 год и дешифрированию спутникового снимка семейства «Landsat/Copernicus» за 2024 год установлено, что полезный объем пруда, который может быть использован в целях мелиорации, составляет 109748,6 м<sup>3</sup>. Объем форсировки составляет 78248,5 м<sup>3</sup>, мертвый объем – 110465,0 м<sup>3</sup>. При оценке экологической ситуации установлено, что площадь зеркала водоема при нормативном подпорном уровне уменьшилась на 16%, залесенных участков – выросла на 54,2%, а площадь залуженной части уменьшилась на 20,5% по сравнению с проектной. По результатам исследования можно сделать вывод о целесообразности использования цифрового двойника пруда мелиоративного назначения для определения его батиграфических характеристик при его технико-экологическом обследовании.

**Abstract.** The purpose of the present study was to evaluate the possibility of using a digital twin of a reclamation pond to determine its bathygraphic characteristics during its technical and environmental survey. The scientific and practical significance of the study lies in the fact that the results of the work clearly illustrate the possibilities of using geographic information models of water bodies in solving digital land reclamation problems, in particular, in assessing and analyzing the dynamics of changes in its technical and environmental state. As a result of a technical and environmental survey of

the pond and a retrospective analysis of its condition according to design data for 2023 and decryption of a satellite image of the «Landsat/Copernicus» family for 2024, it was established that the useful volume of the pond, which can be used for land reclamation purposes, is 109748,6 m<sup>3</sup>. Forcing volume is 78248,5 m<sup>3</sup>, dead volume – 110465,0 m<sup>3</sup>. When assessing the environmental situation, it was established that the area of the reservoir mirror at the standard retaining level decreased by 16%, the forested areas increased by 54,2%, and the area of the watered part decreased by 20,5% compared to the design one. Based on the results of the study, it can be concluded that it is advisable to use a digital twin of a reclamation pond to determine its bathygraphic characteristics during its technical and environmental survey.

**Ключевые слова:** *мелиорация, пруд, спутниковый снимок, Landsat, QGIS, батиграфические характеристики, цифровой двойник.*

**Keywords:** *reclamation, pond, remote sensing, satellite image, Landsat, QGIS, bathygraphic characteristics, digital twin.*

## Введение

Чаще всего создание искусственных водоемов обусловлено необходимостью хозяйствующих субъектов регулировать речной или аккумулировать поверхностный сток. При этом водные ресурсы используются при мелиорации, для ведения аквакультуры, а также в санитарных и противопожарных целях [1, 2, 3].

Водные объекты, находящиеся в зоне влияния гидромелиоративных систем, испытывают интенсивную антропогенную нагрузку, вызванную загрязнением и истощением их водных ресурсов. Основная нагрузка на водный объект связана либо с забором воды из источника, либо со сбросом загрязненных стоков, отводимых с орошаемых территорий [4, 5, 6, 7]. Особенно чувствительны к таким нагрузкам малые водные объекты.

**Актуальным** в настоящее время является технико-экологический мониторинг водоемов мелиоративного назначения. Его проводят для существующих мелиоративных объектов для выявления характера произошедших изменений в их морфометрических, батиграфических и экологических показателях и отклонения от

нормативных значений параметров их технического состояния. Необходимо отметить, что на практике специалисты встречаются с трудностями такой оценки ввиду отсутствия ретроспективных данных состояния этих объектов и даже их проектных характеристик. Часто эти водоемы не имеют собственника или хозяйствующего субъекта, ответственного за его эксплуатацию и, следовательно, состояние.

На малых водных объектах и в водосборной зоне в процессе эксплуатации происходит развитие различных неблагоприятных процессов, в том числе абразия берегов и эрозия склонов, подтопление и заболачивание территорий, а также разрушение инженерных сооружений, обеспечивающих регулирование стока, водозабор или другие задачи. Все это может привести к авариям и чрезвычайным ситуациям, которые наносят огромный ущерб экономике и окружающей природной среде [8]. Для получения полной картины технико-экологического воздействия необходимо проводить комплексные многолетние исследования и регулярные обследования мелиоративных объектов. Эксперты отмечают, что, например, для участия в преддекларационном обследовании ГТС III и IV классов рекомендуется создавать комиссию из разных представителей, в том числе: собственника или эксплуатирующей организации, Ростехнадзора, проектной или строительной организации, службы экологии [9].

Согласно Водному кодексу Российской Федерации все природные и искусственные водоемы, водотоки, озера, родники, болота, имеющие характерные признаки водного режима, объединены общим понятием «водные объекты» [10]. В ГОСТ 19179–73 установлена следующая классификация водных объектов: озеро – естественный водоем с замедленным водообменом; водохранилище – искусственный водоем, образованный водоподпорным сооружением на водотоке с целью хранения воды и регулирования стока; пруд – мелководное водохранилище площадью не более 1 км<sup>2</sup>; пруд-копань – небольшой искусственный водоем в специально выкопанном углублении на поверхности земли, предназначенный для накопления и хранения воды для различных хозяйственных целей [11].

Технико-экологический мониторинг водоемов мелиоративного назначения также является актуальной задачей и в связи с тем, что искусственный водоем – это квазиприродный объект. Желаемый для хозяйствующего субъекта экологический баланс пруда, подвергающегося влиянию различных внешних и внутренних факторов, выходит из состояния равновесия, в результате чего возникает острая необходимость в его восстановлении. Однако нередко случаи, когда жизненный цикл таких объектов не продлевается и водоем исчезает. В некоторых европейских странах (например, в Нидерландах, Швейцарии и некоторых частях Германии) потери достигают 90%. Поэтому исследование, мониторинг и охрана на законодательном уровне малых водных экосистем сейчас очень актуальны [12, 13, 14].

**Цель настоящего исследования** заключалась в оценке возможности использования цифрового двойника пруда мелиоративного назначения для определения его батиграфических характеристик при его технико-экологическом обследовании.

**Научно-практическая значимость** исследования заключается в том, что результаты работ наглядно иллюстрируют возможности использования геоинформационных моделей водных объектов при решении задач цифровой мелиорации, в частности при оценке и анализе динамики изменений его технико-экологического состояния.

### **Методы и методология проведения исследования**

**Объект исследования** (пруд на реке Мамаевке) расположен в пределах Москворецко-Окской равнины и частично занимает западную часть Клязьминско-Московской остаточной холмистой низменности у д. Никоново в Егорьевском районе Московской области. Река Мамаевка является левым притоком р. Цны. Водосборная площадь р. Мамаевки вытянута с северо-востока на юго-запад и имеет протяженность около 4 км.

Метод обследования гидротехнических сооружений на водном объекте – натурный непосредственно у водоема с фотофиксацией. Изучалось состояние гребня, водосброса, береговой линии, процессы зарастания берегов кустарниками

и деревьями, наличие участков мелководья и очагов скопления гидрофитной растительности.

Цифровой двойник пруда мелиоративного назначения выполнен в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходная система координат- WGS 84 (Pseudo-Mercator, EPSG:3857) выбрана вследствие наилучшего совпадения спутниковых снимков семейства «Landsat/Copernicus» с исходными подложками используемых геоинформационных программных комплексов. При разработке геоинформационной системы использованы растровые данные проекта реконструкции плотины на реке Мамаевка у д. Никоново в Егорьевском районе Московской области, выпаленный ООО «Центр Сервис-Проект» (г. Москва, 2013 г.). Цифровой двойник включает данные цифровой модели рельефа (основные и промежуточные горизонталы местности с отметками, топографию сооружения, проектный пикетаж по оси пруда и границы водоохраной зоны.

Гидрологический режим рек района исследования характеризуется высоким весенним половодьем, низкой летне-осенней меженью, прерывающейся редкими интенсивными дождевыми паводками и устойчивой зимней меженью. Подъем уровней воды наблюдается в среднем, в конце марта или в начале апреля. Средняя продолжительность половодья – 28 дней. По данным проекта на гидротехническое сооружение максимальные расходы воды весеннего половодья составляют соответственно 10,3, 8,61, 7,91 и 6,85 м<sup>3</sup>/с для обеспеченности 1, 2, 5, 10% соответственно, максимальные расходы воды дождевых паводков- 3,85, 2,62, 1,85, 1,23 м<sup>3</sup>/с для обеспеченности 1, 2, 5, 10% соответственно.

Задачи обследования включали определение объемов воды в пруде при уровне мертвого объема (УМО), нормативном (НПУ) и форсированном подпорном уровнях (ФПУ). С этой целью на цифровом двойнике отмечались зоны поверхностей зеркала при соответствующих напорах воды. Параметры батиграфических кривых площади зеркала  $F = f(h_i)$  и объема пруда  $W = f(h_i)$  рассчитывались по общепринятой методике [15]. Объем воды в пруде  $W$  оценен для искомых глубин соответствующих уровней послойным суммированием по зависимости для приращения элементных объемов  $\Delta W_i$ :

$$\Delta W_i = (1/3)(F_i + F_{i+1} + (F_i F_{i+1})^{0,5})\Delta h_i,$$

где  $F_i$  и  $F_{i+1}$  – площади зеркала воды в пруде, соответствующие глубинам  $h_i$  и  $h_{i+1}$ , м<sup>2</sup>;  $\Delta h_i$  – приращение глубины, разность глубин  $h_{i+1}$  и  $h_i$ , соответственно соседних уровней воды, м.

Объем придонного слоя воды, соответствующий мертвому объему, определен по зависимости:

$$W_{\text{УМО}} = (2/3) F_{\text{УМО}} h_1, \text{ м}^3,$$

$h_1$  – глубина воды при УМО, м;  $F_{\text{УМО}}$  – площадь зеркала воды в пруде при УМО, м<sup>2</sup>.

Полезный объем пруда  $W_{\text{п}}$  определен как разность объемов при УМО и НПУ соответственно  $W_{\text{УМО}}$  и  $W_{\text{НПУ}}$  при допущении, что отсутствуют приток воды, потери на испарение и фильтрацию, а случай накопления ила в пруду в данной работе не рассматривается:

$$W_{\text{п}} = W_{\text{НПУ}} - W_{\text{УМО}}.$$

При этом необходимо отметить, что в соответствии с санитарными требованиями необходимо периодически не реже 3–5 лет очищать пруд от наносов и ила. Опорожнение пруда осуществляется открытием задвижки, установленной в смотровом колодце водоспуска.

Площади зеркала пруда при УМО, НПУ и ФПУ определены измерением в геоинформационной системе QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze») с использованием цифрового двойника с помощью функции геометрии полигонального объекта «\$area», которая позволяет вычислить площадь по эллипсоиду (если он установлен в системе координат) или на плоскости (если эллипсоид не установлен). Из проекта реконструкции гидротехнического сооружения известны отметки НПУ и ФПУ соответственно 116,6 и 117,1 м. Отметка УМО принята равной 2,5 м у плотины исходя из рекомендаций [16].

В целях изучения характера экологических изменений также выделялись контура площадей залесенных участков, зеркала водоема (при НПУ) и лугов с 2013 г. (по данным проекта реконструкции) и в результате дешифрирования спутникового снимка за 2024 год в границах водоохранной зоны. Отношением указанных площадей оценивался процент их изменения.

Обработка данных и графическое оформление батиметрических характеристик и поперечного профиля пруда с указанием уровней воды выполнен в электронных таблицах Microsoft Office Excel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)).

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 приведен цифровой двойник пруда с обозначением оси пикетажа, основных сооружений и уровней воды.



Рисунок 1 – Цифровой двойник пруда на реке Мамаевке: 1 – тело плотины; 2 – водосбросное сооружение; А–А – ось пикетажа; ■ – уровень мертвого объема (УМО); ■ – нормативный подпорный уровень (НПУ); ■ – форсированный подпорный уровень (ФПУ)

На объекте исследования обнаружены следующие гидротехнические сооружения: земляная плотина, водосбросное сооружение, донный водовыпуск. Земляная плотина – глухая однородная распластанного профиля. Класс капитальности- IV. Отметка гребня плотины согласно проекту – 118,6 м. Верховой откос плотины уположенный, имеет уклон 1:5. Предусмотрено крепление

верхового откоса в виде каменной наброски от отметки 115,4 м до 117,6 м в целях дополнительного гашения энергии волн и предотвращения динамического размыва грунта тела плотины. Ширина плотины по гребню однородная на всем протяжении и составляет 5,5 м. По гребню длиной 530 м устроен технологический проезд из железобетонных плит с ограждением из сигнальных столбиков (рисунок 2а). Водосбросное сооружение по типу сифона относится к IV классу капитальности и реализовано в виде двух ниток металлических труб диаметром 1220мм. Входная часть выполнена в виде ковша из стального листа Верхняя кромка входного отверстия сифона заглублена под уровень воды в верхнем бьефе (рисунок 2б). На выходе из сифона устраивается концевой сброс (рисунок 2в) в виде носка, выполненного из металлической трубы с гасителями (рисунок 2г). Рассеивающий порог, установленный в конце трубопровода, обеспечивает резкое рассеивание потока воды и отбрасывает его на значительное расстояние от сооружения. Для предотвращения размыва нижнего бьефа от падения струи с рассеивающего порога, предусмотрено крепление воронки размыва камнем с фракцией 30...40 см. Отвод сбрасываемой воды в р. Мамаевку осуществляется по отводящему каналу трапецеидального сечения с заложением откосов 1:1.5, при этом проектное дно канала совпадает с отметкой дна реки в нижнем бьефе, что предотвращает дальнейший размыв. Донный водоспуск расположен в центральной части плотины и предназначен для полного опорожнения пруда и реализован по типу стальной трубы диаметром 500 мм с выходным оголовком в виде консольного сброса. Поперечный профиль пруда по оси пикетажа А–А приведен на рисунке 3.



А



Б



В



Г

Рисунок 2 – Плотина на реке Мамаевке: А – гребень плотины; Б – входная часть водосброса; В – концевой сброс водовыпуска; Г – концевой «носик» с рассеивающим порогом

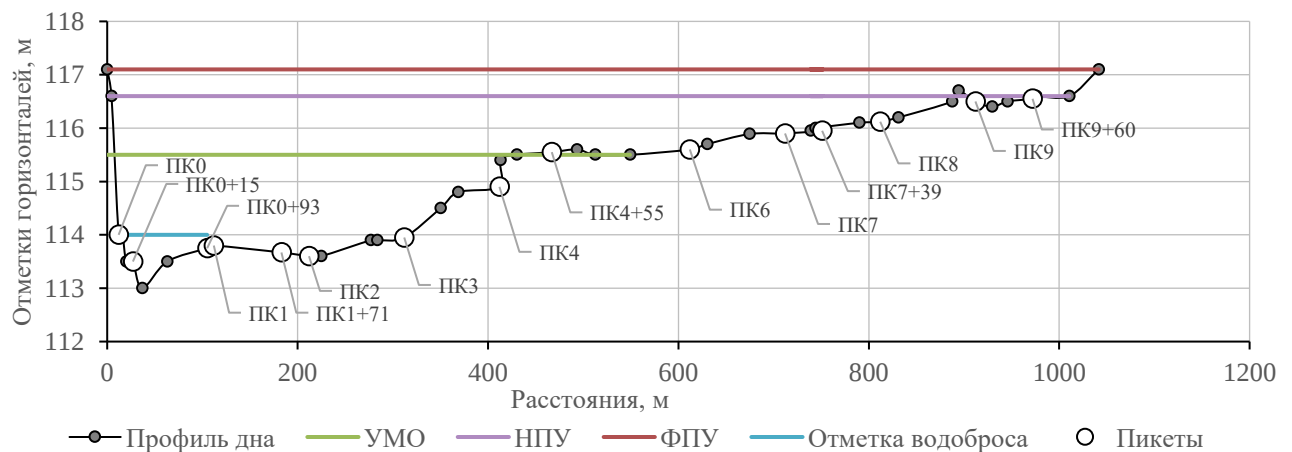


Рисунок 3 – Поперечный профиль пруда на р. Мамаевке и уровни воды по оси пикетажа А–А

Результаты расчета батиграфических кривых площади зеркала  $F = f(h_i)$  и объема пруда  $W = f(h_i)$  показаны на рисунке 4. В соответствии с расчетами полезный объем пруда, который может быть использован в целях мелиорации, составляет 109748,6 м<sup>3</sup>. Объем форсировки составляет 78248,5 м<sup>3</sup>, мертвый объем – 110465,0 м<sup>3</sup>.

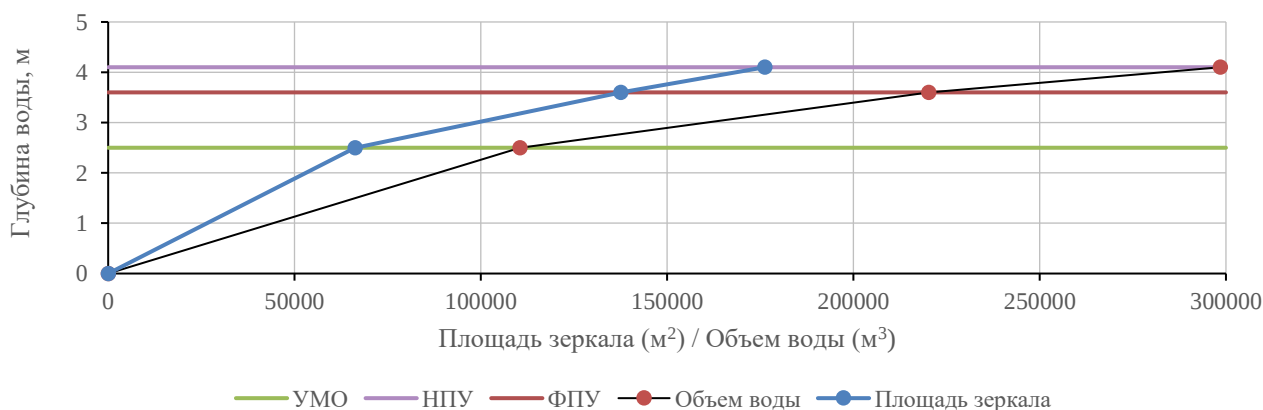


Рисунок 4 – Батиграфические характеристики пруда на р. Мамаевке

На рисунке 5 приведены результаты оценивания выделенных контуров площадей залесенных участков, зеркала водоема (при НПУ) и лугов с 2013 г. (рисунок 5А по данным проекта реконструкции) и в результате дешифрирования спутникового снимка за 2024 год (рисунок 5Б) в границах водоохранной зоны. В целях изучения характера экологических изменений также построена гистограмма динамики этих площадей (рисунок 5Г). Из приведенных данных видно, что площадь зеркала водоема при НПУ уменьшилась на 16%, залесенных участков – выросла на 54,2%, а площадь залуженной части уменьшилась на 20,5% по сравнению с проектной. Уменьшение площади зеркала может быть связано с процессами заиления, которые необходимо учитывать при определении полезного объема пруда. Также обращает на себя внимание визуально выделяемые на спутниковых снимках зеркала контуры, цвет которых отличается от цвета воды, что может свидетельствовать о наличии мелководья в этих зонах или процессах скопления гидрофитов (рисунок 5В).

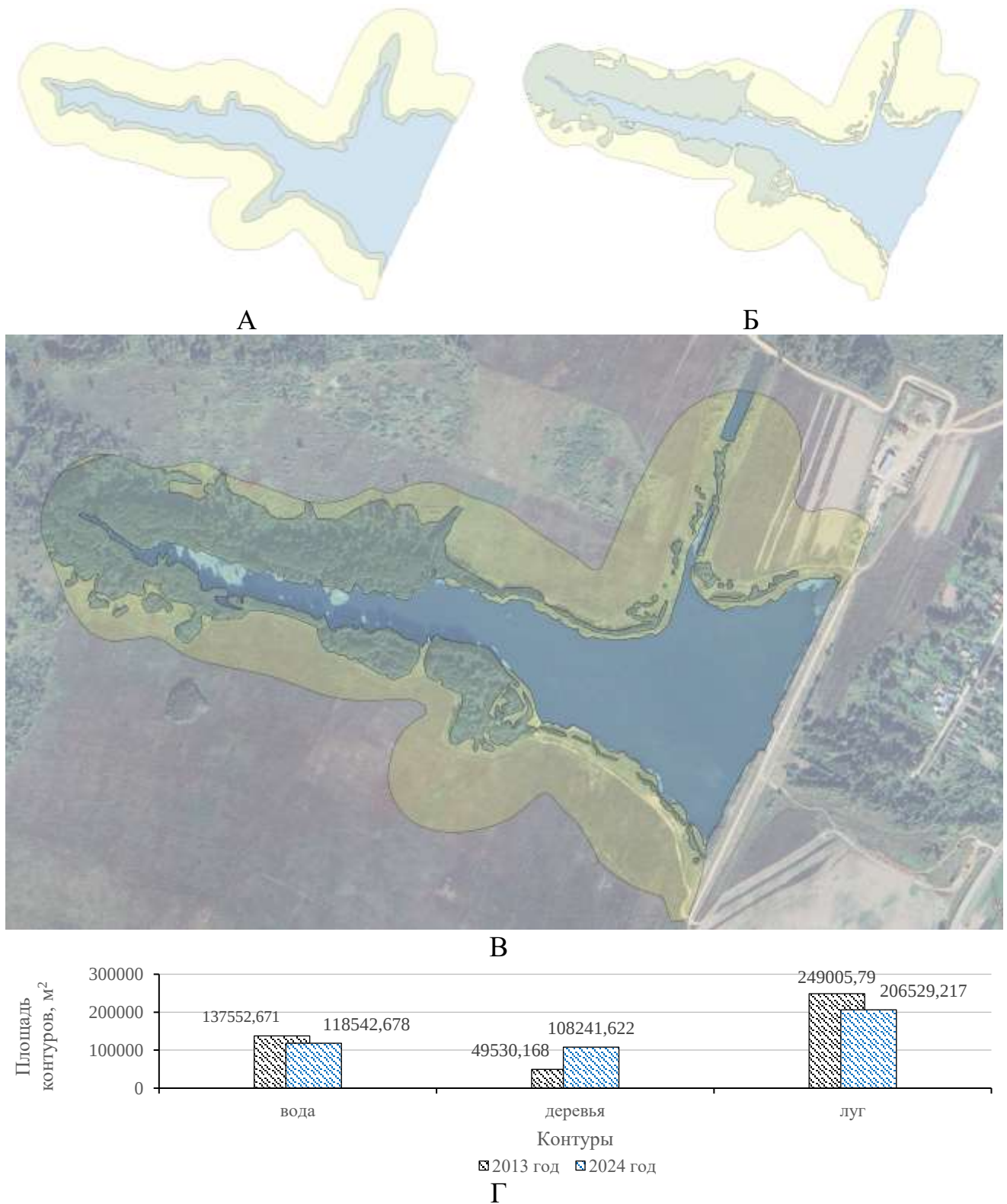


Рисунок 5 – Ретроспектива изменения площади зеркала водоема ■, лугов ■ и залесенных участков (деревья) ■ с 2013 г. (А, по данным проекта реконструкции) и в результате дешифрирования спутникового снимка за 2024 год (Б) в границах водоохранной зоны; В – контуры с наложением спутникового снимка; Г – гистограмма динамики площадей

## Выводы

В результате технико-экологического обследования пруда и ретроспективного анализа его состояния по проектным данным за 2023 год и дешифрирования спутникового снимка семейства «Landsat/Copernicus» за 2024 год установлено, что полезный объем пруда, который может быть использован в целях мелиорации, составляет 109748,6 м<sup>3</sup>. Объем форсировки составляет 78248,5 м<sup>3</sup>, мертвый объем – 110465,0 м<sup>3</sup>. При оценке экологической ситуации установлено, что площадь зеркала водоема при НПУ уменьшилась на 16%, залесенных участков – выросла на 54,2%, а площадь залуженной части уменьшилась на 20,5% по сравнению с проектной. По результатам исследования можно сделать вывод о целесообразности использования цифрового двойника пруда мелиоративного назначения для определения его батиграфических характеристик при его технико-экологическом обследовании.

## Литература

1. Горшкова А.Т., Урбанова О.Н., Мутыгуллина Ю.В., Бортникова Н.В., Семанов Д.А., Рыков Р.А. О прудах как водных объектах и признании прав собственности на них // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 47-51. [Электронный ресурс] URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37669> (Дата обращения 27.10.2024 г.).
2. Гинатуллина Е.Н., Туйчиев К.С., Рахимджонова Э.Х., Каримов Р.А. Направленное формирование планктонных сообществ водоема при полуинтенсивном разведении рыб // Экология и строительство. 2024. № 1.
3. Каштанов В.В., Савушкин С.С. Правовые проблемы взаимоотношений хозяйствующих субъектов Российской Федерации в практике использования гидротехнических сооружений // Экология и строительство. 2023. № 1.
4. Ольгаренко, В.И. Основные направления совершенствования эксплуатации гидромелиоративных систем в современных условиях // Актуальные проблемы эксплуатации гидромелиоративных систем. Новочеркасск, 1998. С. 25–29.

5. Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности: науч. моногр. / А.Р. Аладинская, Т.Ю. Анопченко, И.А. Афолина. Новосибирск: СибА К, 2015. 260 с.

6. Комплексная оценка пригодности вод реки Альма для целей ирригации / Н.М. Иванютин // Экология и строительство. 2019. № 4. С. 22-32. DOI 10.35688/2413-8452-2019-04-003. EDN YFATWR.

7. Гидроэкологический мониторинг качества речных вод бассейна реки Амударьи в пределах Узбекистана / Э. И. Чембарисов, Ж. Б. Мирзакобулов, М. Н. Рахимова [и др.] // Экология и строительство. 2019. № 1. С. 12-18. DOI 10.35688/2413-8452-2019-01-002. EDN UNHBTТ.

8. Касперов Г.И., Левкевич В.Е., Миканович Д.С. Натурные обследования технического состояния гидротехнических сооружений прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. №2 (184). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naturnye-obsledovaniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-gidrotehnicheskikh-sooruzheniy-prudov-nakopiteley-meliorativnyh-i-poldernyh-sistem> (Дата обращения 27.10.2024 г.).

9. Булгаков Д.В., Гжибовский С.А. Область безопасности гидротехнических сооружений, закреплённая в нормативно-правовых актах Российской Федерации // Экология и строительство. 2024. № 1.

10. Водный кодекс Российской Федерации (от 03.06.2006 N 74-ФЗ, ред. от 08.08.2024, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024 г.) [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/901982862> (Дата обращения 27.10.2024 г.).

11. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения» [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009457> (Дата обращения 27.10.2024 г.).

12. Болотов М.И. Экологическая ценность малых водных экосистем (обзор) // Студенческий научный форум: мат. XIV междун. студ. научн. конф. [Электронный ресурс] URL: [href= https://scienceforum.ru/2022/article/2018029715](https://scienceforum.ru/2022/article/2018029715) ><https://scienceforum.ru/2022/article/2018029715> (Дата обращения 27.10.2024 г.).

13. Karl Cottenie. Zooplankton community structure and environmental conditions in a set of interconnected ponds [text] / Karl Cottenie, Nele Nuytten, Erik Michels, Luc De Meester // *Hydrobiologia*. 2001. № 442. P. 339-350.

14. Assessing aquatic biodiversity of zooplankton communities in an urban landscape / El-Amine Mimouni, Bernadette Pinel-Alloul, Beatrix E. Beisner // *Urban Ecosyst*. 2015. № 18. P. 1353-1372.

15. Гидрология и гидроэкология: методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы / сост.: А.Г. Ходзинская, Ф.В. Котов. М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2020. [Электронный ресурс] URL: <http://lib.mgsu.ru/> (Дата обращения: 27.10.2024 г.).

16. Практикум по сельскохозяйственной мелиорации и водоснабжению / Н.С. Ерхов, Н.И. Ильин, В.С. Мисенев. М.: Колос, 1984. 160 с.

### References

1. Gorshkova A.T., Urbanova O.N., Mutygullina YU.V., Bortnikova N.V., Semanov D.A., Rykov R.A. O prudah kak vodnyh ob"ektah i priznanii prav sobstvennosti na nih // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2021. № 8. S. 47-51. [Elektronnyj resurs] URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37669> (Data obrashcheniya 27.10.2024 g.).

2. Ginatullina E.N., Tujchiev K.S., Rahimdzhonova E.H., Karimov R.A. Napravlennoe formirovanie planktonnyh soobshchestv vodoema pri poluintensivnom razvedenii ryb // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2024. № 1.

3. Kashtanov V.V., Savushkin S.S. Pravovye problemy vzaimootnoshenij hozyajstvuyushchih sub"ektov Rossijskoj Federacii v praktike ispol'zovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2023. № 1.

4. Ol'garenko, V.I. Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya ekspluatatsii gidromeliorativnyh sistem v sovremennyh usloviyah // *Aktual'nye problemy ekspluatatsii gidromeliorativnyh sistem*. Novocherkassk, 1998. S. 25–29.

5. Ohrana okruzhayushchej sredy ot negativnogo vozdejstviya hozyajstvennoj deyatel'nosti: nauch. monogr. / A.R. Aladinskaya, T.YU. Anopchenko, I.A. Afonina. Novosibirsk: SibA K, 2015. 260 s.

6. Kompleksnaya ocenka prigodnosti vod reki Al'ma dlya celej irrigacii / N.M. Ivanyutin // Ekologiya i stroitel'stvo. 2019. № 4. S. 22-32. DOI 10.35688/2413-8452-2019-04-003. EDN YFATWR.

7. Gidroekologicheskij monitoring kachestva rechnyh vod bassejna reki Amudar'i v predelah Uzbekistana / E. I. CHembarisov, ZH. B. Mirzakobulov, M. N. Rahimova [i dr.] // Ekologiya i stroitel'stvo. 2019. № 1. S. 12-18. DOI 10.35688/2413-8452-2019-01-002. EDN UNHBTT.

8. Kasperov G.I., Levkevich V.E., Mikanovich D.S. Naturnye obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij prudov-nakopitelej meliorativnyh i pol'dernyh sistem // Trudy BGTU. №2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2016. №2 (184). [Elektronnyj resurs] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naturnye-obsledovaniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-gidrotekhnicheskikh-sooruzheniy-prudov-nakopiteley-meliorativnyh-i-poldernyh-sistem> (Data obrashcheniya 27.10.2024 g.).

9. Bulgakov D.V., Gzhibovskij S.A. Oblast' bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij, zakreplennaya v normativno-pravovyh aktah Rossijskoj Federacii // Ekologiya i stroitel'stvo. 2024. № 1.

10. Vodnyj kodeks Rossijskoj Federacii (ot 03.06.2006 N 74-FZ, red. ot 08.08.2024, s izm. i dop., vstup. v silu s 01.09.2024 g.) [Elektronnyj resurs] URL: <https://docs.cntd.ru/document/901982862> (Data obrashcheniya 27.10.2024 g.).

11. GOST 19179-73 «Gidrologiya sushi. Terminy i opredeleniya» [Elektronnyj resurs] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009457> (Data obrashcheniya 27.10.2024 g.).

12. Bolotov M.I. Ekologicheskaya cennost' malyh vodnyh ekosistem (obzor) // Studencheskij nauchnyj forum: mat. XIV mezhdun. stud. nauchn. konf. [Elektronnyj resurs] URL: [href= https://scienceforum.ru/2022/article/2018029715](https://scienceforum.ru/2022/article/2018029715) ><https://scienceforum.ru/2022/article/2018029715> (Data obrashcheniya 27.10.2024 g.).

13. Karl Cottenie. Zooplankton community structure and environmental conditions in a set of interconnected ponds [text] / Karl Cottenie, Nele Nuytten, Erik Michels, Luc De Meester // Hydrobiologia. 2001. № 442. P. 339-350.

14. Assessing aquatic biodiversity of zooplankton communities in an urban landscape / El-Amine Mimouni, Bernadette Pinel-Alloul, Beatrix E. Beisner // *Urban Ecosyst.* 2015. № 18. P. 1353-1372.

15. Гидрология и гидроэкология: методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы / сост.: А.Г. Ходзинская, Ф.В. Котов. М.: Издатel'stvo MISI-MGSU, 2020. [Elektronnyj resurs] URL: <http://lib.mgsu.ru/> (Data obrashcheniya: 27.10.2024 g.).

16. Практикум по sel'skohoyajstvennoj melioracii i vodosnabzheniyu / N.S. Erhov, N.I. Il'in, V.S. Misenev. М.: Kolos, 1984. 160 s.

© Зверьков М.С., Брыль С.В., 2024. *International agricultural journal*, 2024, № 6, 1718-1734.

**Для цитирования:** Зверьков М.С., Брыль С.В. АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРУДА МЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЕГО БАТИГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК // *International agricultural journal*. 2024. № 6, 1718-1734.