

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 627.81

Проблемы заиления ложа водохранилищ мелиоративного назначения и пути их решения

Герман Александрович Сенчуков¹, Вячеслав Дмитриевич Гостищев²

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

¹g19752011@mail.ru

²nb515@mail.ru

Аннотация. Цель: комплексно и всесторонне осветить проблематику заиления водохранилищ с учетом статистических показателей по наличию и объему водохранилищ мелиоративного назначения, определить перспективные объекты для проведения исследований, задачи и возможные пути решения для снижения негативного влияния стока твердых наносов. **Материалы и методы.** В ходе проведенной работы использовались сведения о наличии и характеристиках водохранилищ мелиоративного назначения, полученные на основании данных ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению за 2023 г., информационные и справочные материалы литературных источников. **Результаты и обсуждение.** На балансе департамента мелиорации РФ находится 339 водохранилищ с общим объемом при НПУ 2,8 куб. км, что в потенциале может использоваться для орошения на площади 934 тыс. га. Однако заиление водохранилищ приводит к уменьшению емкостных характеристик. Исследования показывают, что отложения в водохранилищах образуются из-за стока с прилегающих водосборных площадей, изменений русла рек и эрозии, а абразионные берега приводят к необратимому изъятию прилегающих участков. Анализ литературных источников не дает полноценный ответ на долевое соотношение этих источников заиления. При этом существует возможность оценить величину поступления наносов, влекомых водами источника наполнения, на основании натурных замеров инструментальными способами, а также на основании региональных справочных данных по наличию и характеру формирования твердого стока с водосборной площади. Что касается оценки переработки берегов, то расчетных методов не существует, а применение классических методов оптической съемки геодезическими приборами затруднительно. Целесообразно для их мониторинга использовать воздушное лазерное сканирование с БПЛА. **Выводы.** Ввиду значительного количества водохранилищ мелиоративного назначения, научный интерес представляет их типизация с целью выработки комплексных мероприятий, основанных на оптимальном сочетании существующих на настоящий момент времени решений. Для проведения натурных исследований рассмотрено 9 наиболее крупных, что позволит решить целый комплекс актуальных задач и предложить наиболее оптимальные варианты для их решения, основываясь как на накопленном опыте, так и путем проработки патентных решений.

Ключевые слова: водохранилища мелиоративного назначения, заиление, переработка берегов, сток наносов, мониторинг, гидрологические исследования, дистанционные методы зондирования Земли

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 11 октября 2024 г.).

Для цитирования: Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д. Проблемы заиления ложа водохранилищ мелиоративного назначения и пути их решения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 94, № 3. С. 1–17.

MODERN PROBLEMS OF THE RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT COMPLEX AND WAYS TO SOLUTION THEM

Original article

The problems with reclamation reservoir bed siltation and ways of their solving

German A. Senchukov¹, Vyacheslav D. Gostishchev²

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

¹g19752011@mail.ru

²nb515@mail.ru

Abstract. Purpose: to cover the problem of reservoir siltation detailed and comprehensively taking into account the statistical indicators on presence and volume of reservoirs for land reclamation purposes, to identify promising objects for research as well as tasks and possible ways to reduce the negative impact of solid sediment flow. **Materials and methods.** In the course of the work, the information on presence and characteristics of reservoirs for land reclamation purposes, obtained on the basis of data from the Federal State Budgetary Institution for Land Reclamation and Agricultural Water Supply for 2023, information and reference materials from literary sources, was used. **Results and discussion.** There are 339 reservoirs with a total volume of 2.8 cub. km at full reservoir level on the balance sheet of the Russian Federation Department of Land Reclamation, which can be used potentially for irrigation of an area of 934 thousand hectares. However, siltation of reservoirs leads to a decrease in capacity characteristics. Studies show that sediments in reservoirs are formed due to runoff from adjacent catchment areas, changes in river beds and erosion, and abrasive banks lead to irreversible withdrawal of adjacent areas. Analysis of literary sources does not provide a complete answer to the proportional ratio of these sources of siltation. At the same time, it is possible to estimate the amount of sediment supply carried by the waters of the filling source based on field measurements using instrumental methods, as well as on regional reference data on presence and nature of solid runoff formation from the catchment area. As for the reservoir bank transformation assessment, there are no calculation methods, and the use of classical optical survey methods with geodetic instruments is difficult. It is advisable to use airborne laser scanning from UAVs for their monitoring. **Conclusions.** Due to the significant number of reservoirs for reclamation purposes, their classification is of scientific interest in order to develop comprehensive measures based on the optimal combination of currently existing solutions. For conducting field studies, 9 of the largest ones were considered, which will allow solving a whole range of urgent problems and offering the most optimal options for their solution, based both on accumulated experience and by developing patent solutions.

Keywords: reservoirs for reclamation purposes, siltation, reservoir bank transformation, sediment runoff, monitoring, hydrological studies, remote sensing methods of the Earth

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 11, 2024).

For citation: Senchukov G. A., Gostishchev V. D. The problems with reclamation reservoir bed siltation and ways of their solving. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;94(3):1–17. (In Russ.).

Введение. Для улучшения хозяйственно-бытовой деятельности человечеством издавна устраиваются водохранилища на основе большого разнообразия конструктивных решений, применяемых материалов, целей использования и объема заполнения. Водохранилища создаются для различных потребностей, включая накопление воды для водоснабжения населенных пунктов, орошения, гидроэнергетики, выращивания аквакультуры, судоходства, защиты от наводнений, рекреации. Однако, как показало время и накопленный человечеством опыт, устройство водохранилищ сопряжено с неизбежным процессом их заиления.

Заиление представляет собой процесс, при котором частицы в виде песка, ила, глины и органических соединений накапливаются в ложе водоема, постепенно заполняя его. Этот процесс происходит в результате механического воздействия ветра, волн и течений. Процесс заиления водохранилищ сложный и многофакторный [1–10].

Материалы и методы. В ходе проведенной работы использовались сведения о наличии и характеристиках водохранилищ мелиоративного назначения, полученные от ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению, за 2023 г., информационные и справочные материалы научных источников.

В качестве методов научного исследования были применены: анализ, синтез, формализация, аналогия, индукция и обобщение.

Результаты и обсуждение. К неутешительным прогнозам пришли ученые из Российского государственного аграрного университета и Всероссийского научно-исследовательского института гидротехнологии и мелиорации: Ростовская область может оказаться в опасности экологической катастрофы из-за заиливания водохранилищ. Если не принимать меры по удалению наносов, то через 20–40 лет есть высокая вероятность, что большинство водохранилищ могут полностью деградировать [8]. Чтобы предотвратить проблему, необходимо контролировать сток из водохранилищ,

но зачастую это становится непосильной задачей для местного населения. Согласно исследованиям, в восточной части Ростовской области, в Калмыкии, в Ставропольском крае, а также в Волгоградской и Саратовской областях с 1960-х по 1980-е гг. были построены десятки ирригационных водохранилищ. Сейчас большинство из них заброшены, хотя могли бы использоваться для нужд сельского хозяйства. Из-за бездействия они заиливаются и создают угрозу для окружающей среды.

Согласно исследованиям Нижегородского архитектурно-строительного университета, после образования водохранилища начинается процесс формирования рельефа его берегов, что характерно для крупных и средних водоемов в разных климатических зонах [9]. Особенно активно переформируются абразионные берега. Из 76 тыс. км береговой линии российских водохранилищ около 42 тыс. км приходится на абразионные берега. Переформирование берегов приводит к необратимому изъятию прибрежных территорий из хозяйственного использования и создает угрозу для береговой инфраструктуры. Из-за растущей ценности земель вдоль водохранилищ количественная оценка и прогнозирование развития абразии становятся актуальными задачами.

На основании исследований, проведенных учеными из Института экологии Волжского бассейна РАН и Института озероведения РАН, было установлено, что отложения, которые переносятся реками Волгой и Камой в районе Куйбышевского водохранилища, в основном образовались в результате изменений русла и эрозии на частных водосборах этих рек [10].

В последние годы существования Куйбышевского водохранилища влияние абразии берегов на процессы накопления осадков в водоеме несколько уменьшилось, но все еще остается значительным. В периоды паводков, когда уровень воды повышается, а также из-за ветрового волнения, оползней на склонах, ледохода и переноса рыхлых грунтов вблизи уреза

воды при таянии снега береговая эрозия вносит значительный вклад в изменение прибрежных участков водохранилища.

Согласно статистическим данным за 2023 г., полученным от ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению, на балансе департамента мелиорации РФ находится 339 водохранилищ. Диапазон емкостных характеристик этих водохранилищ весьма широк и находится в интервале 0,02–805 млн м³. Общий объем водохранилищ при нормальном подпорном уровне (НПУ) составляет 3999 млн м³, а полезный – порядка 2802 млн м³, что может быть использовано для целей орошения на площади 934 тыс. га при средней оросительной норме 3 тыс. м³/га (рисунок 1).

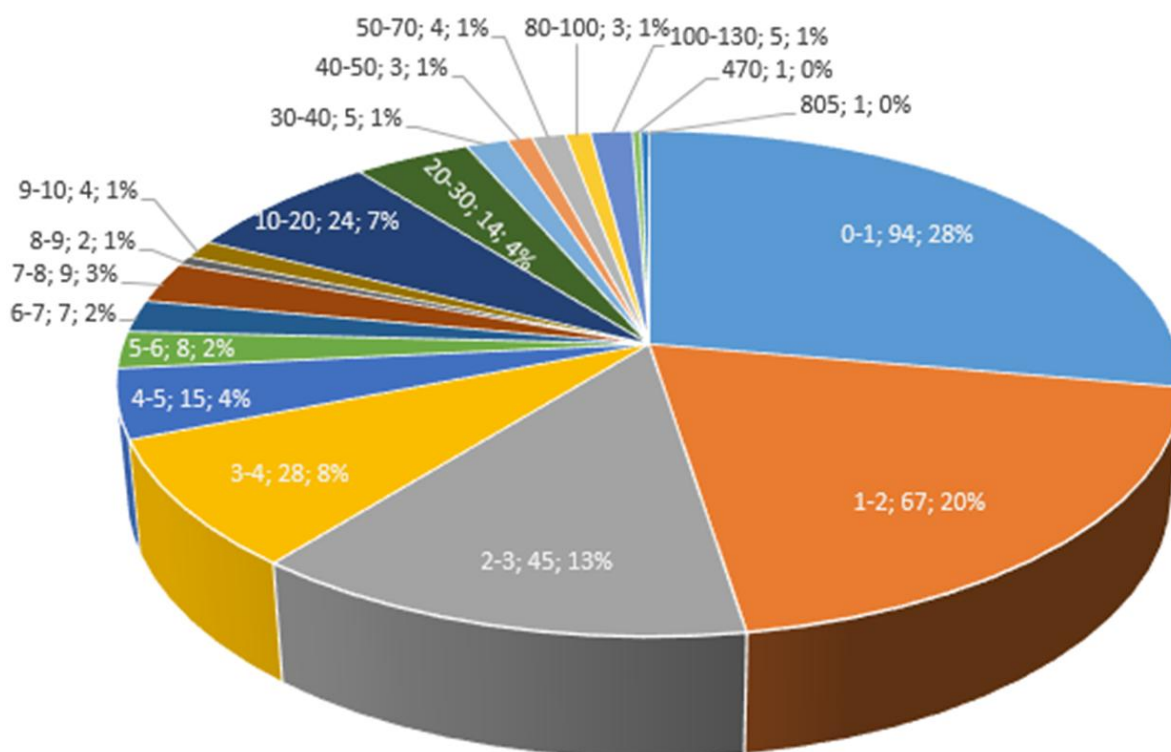


Рисунок 1 – Наличие водохранилищ мелиоративного назначения (диапазон заполнения при НПУ, млн м³; шт.; процент от общего количества 339 шт.) на основании сведений ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению за 2023 г.

Figure 1 – Availability of reservoirs for reclamation purposes (filling range at full reservoir level, million m³; pcs.; percentage of the total number 339 pcs.) based on data from the Federal State Budgetary Institution for Land Reclamation and Agricultural Water Supply for 2023

Однако потенциал, заложенный в период проектирования ГТС, образующих водохранилища, с течением времени уменьшается за счет заиления. Практический опыт визуального и инструментального обследования некоторых из этих водохранилищ (Чограйское водохранилище – $0,67 \text{ км}^3$, Отказненское водохранилище – $0,11 \text{ км}^3$, водохранилище «Ростовское море» – $0,623 \text{ млн м}^3$), а также водохранилищ комплексного назначения (Цимлянское водохранилище – $23,8 \text{ км}^3$, Соколовское и Вербенское водохранилища – 20 млн м^3) свидетельствует о снижении емкостных характеристик за многолетний период эксплуатации за счет заиления. По предварительным подсчетам, объем заиления этих водоемов составил в среднем около 8,8 % за текущий срок их эксплуатации [11–14].

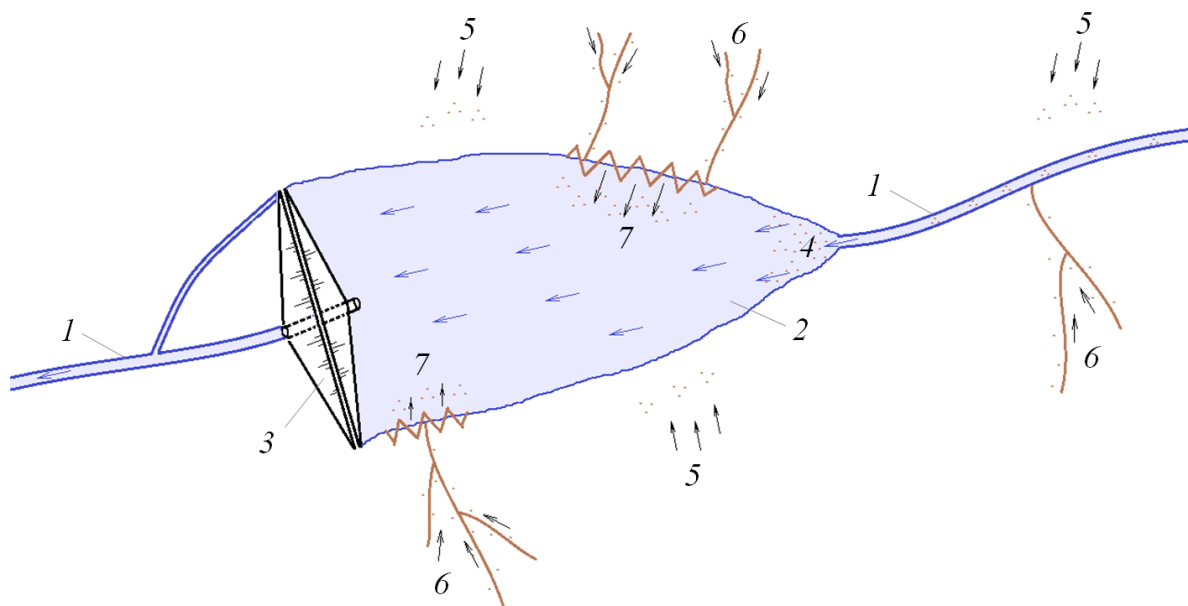
Согласно данным ФГБУ «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища», за время его эксплуатации произошло уменьшение объема воды в нем на 822 млн м^3 , что составляет 3,4 % от первоначального объема. Из этого объема 180 млн м^3 , или 1,6 %, приходится на полезный объем [11].

Проанализировав ряд научных источников [1–14], основываясь на полученном опыте исследователей, можно сделать следующее обобщение.

Источником иловых отложений (поз. 4–7, рисунок 2), которые с течением времени аккумулируются в ложе водохранилищ (поз. 2, рисунок 2), являются как донные наносы, влекомые русловым водным потоком (поз. 4, рисунок 2), и наносы, поступающие с водосборной территории (поз. 5, 6, рисунок 2), так и объемы грунта, поступающие в результате переработки (абразии) берегов (поз. 7, рисунок 2).

Анализ литературных источников [1–10] не дает полноценный ответ на долевое соотношение этих источников заиления. При этом существует возможность оценить величину поступления наносов, влекомых водами источника наполнения, на основании натурных замеров (батометрами, мутномерами), а также на основании региональных справочных данных по

наличию и характеру формирования твердого стока в поверхностных водных объектах.



- 1 – водоток; 2 – водохранилище; 3 – плотина; 4 – наносы, влекаемые водотоком;
5 – твердый сток с водосборной площади; 6 – сток наносов с овражно-балочной сети;
7 – наносы, образованные в процессе переработки берегов водохранилища
1 – watercourse; 2 – reservoir; 3 – dam; 4 – sediments carried by the watercourse; 5 – solid runoff from the catchment area; 6 – sediment runoff from the gully-ravine network;
7 – sediments formed during the reservoir banks transformation

Рисунок 2 – Схема поступления наносов в ложе водохранилища

Figure 2 – Scheme of sediment supply to the reservoir bed

При изучении твердого стока с берегов прилегающей территории существует методика, по которой на типовых водосборах закладываются стоковые площадки для натурных наблюдений или же используют справочные значения (карты мутности для разных территорий – Г. И. Шамов, Д. Л. Соколовский, П. С. Кузин, Н. И. Дрозд и др.) [1–4].

На интенсивность развития абразивных процессов вдоль берегов водохранилища оказывает влияние целый ряд факторов [7–9], таких как:

- гидрографические (степень развития гидрографической сети речной долины, количественные и режимные характеристики стока);
- гидрологические (изменение уровня воды в водохранилище, скорость течения воды, высота волн);

- геологические (состав грунта прибрежной территории, его устойчивость к эрозии, наличие трещин);
- климатические (ветер, дождь, снег, температура воздуха и воды);
- антропогенные (осуществление сельскохозяйственной и промышленной деятельности на прилегающей территории).

Эти факторы могут действовать как отдельно, так и комплексно, вызывая различную степень абразионных процессов на берегах водохранилища, рассчитать или спрогнозировать которые в массовом порядке не представляется возможным без проведения натурных наблюдений за конкретным объектом.

Возможно, в перспективе, на основании большого ряда временных наблюдений по вышеперечисленным влияющим на абразию берегов факторам, можно будет осуществить типизацию водохранилищ и составить прогнозные корреляционные зависимости в виде графиков и формул.

До недавнего времени вопрос о наблюдениях за состоянием берегов мелиоративных водохранилищ либо не ставился, либо решался эпизодическими локальными съемками с применением оптических геодезических приборов (теодолит, тахеометр) и средств спутникового позиционирования. Но использование наземных способов съемки береговой линии сопряжено как с невысокой производительностью (в т. ч. за счет зарастания территории, наличия примыкающей овражно-балочной сети и водотоков), так и с рисками обрушения берегов при перемещении работников с приборами, отражателями или спутниковыми антеннами GNSS.

В настоящее время в связи с бурным развитием беспилотных авиационных средств и всевозможных датчиков дистанционного зондирования Земли (лидары, датчики видимого и инфракрасного диапазонов, микроволновые, датчики гамма-лучей и ультрафиолета, мультиспектральные камеры и т. п.) впервые появилась возможность применить их для проведе-

ния регулярных наблюдений (мониторинга) за развитием эрозионных процессов на берегах мелиоративных водохранилищ [15].

Ввиду значительного количества водохранилищ мелиоративного назначения, обладающих широким диапазоном отличительных признаков, научный интерес представляет их типизация с целью выработки комплексных мероприятий, основанных на оптимальном сочетании существующих на настоящий момент времени решений, в т. ч. основанных на применении современных измерительных комплексов дистанционного зондирования и компьютерного моделирования сложных гидродинамических процессов.

В качестве объектов для проведения исследований особый интерес представляют водохранилища мелиоративного назначения, представленные в таблице 1. Как видно из таблицы, водохранилища были построены в период с 1948 по 1991 г., что позволяет охватить исследованиями широкий временной диапазон их использования – 33–76 лет. Суммарный объем их общего наполнения при значениях НПУ составляет 2489 млн м³, общая площадь зеркала воды – 292 км², а площадь береговой линии – 300 км.

Отдельный интерес представляет находящееся в оперативном управлении ФГБУ «УЭТКГ и ЧВ» Отказненское водохранилище: оно в основном используется как противопаводковое для защиты от негативного воздействия вод и, в силу своей специфики, ежегодно опорожняется после прохождения весеннего паводка. По этой причине ложе водохранилища доступно как для визуального изучения, так и для проведения инструментальных геодезических съемок, в т. ч. с использованием современных беспилотных авиационных средств, оснащенных датчиками дистанционного зондирования Земли.

Предварительный визуальный анализ картографической информации и фотоматериалов свидетельствует о масштабном заилении и зарастании ложа водохранилища (рисунок 3).

Таблица 1 – Водохранилища мелиоративного назначения, перспективные для проведения научных исследований (на основании сведений ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению)

Table 1 – Reservoirs reclamation purposes, promising for conducting scientific research (based on information from the Federal State Budgetary Institution for Land Reclamation and Agricultural Water Supply)

Водохранилище	Субъект РФ	Река	Объем при НПУ, млн м ³	Площадь зеркала воды, км ²	Длина береговой линии, км	Глубина максимальная, м	Год постройки
Новотроицкое	Ставропольский край, Изобильненский р-н	Егорлык	77,9	11,2	36,5	18	1952
Сенгилеевское	Городской округ Ставрополя	Егорлык	805,0	42,0	30	34	1958
Усть-Джегутинское	Карачаево-Черкесская Республика, Усть-Джегутинский район	Кубань	475,0	2,7	8,1	30	1962
Дундинское	Ставропольский край, на границе Ипатовского и Апанасенковского районов	Кубань	80,0	18,0	21	28	1985
Волчьи Ворота	Ставропольский край, Новоселицкий район	Томузловка	23,5	5,2	17	12	1956
Горько-Балковское	Ставропольский край, Советский район	Горькая Балка	165,0	2,1	8,6	10	1991
Курское	Ставропольский край, Курский район	Кура	11,4	5,5	21	8	1948
Чограйское	На границе Ставропольского края и Республики Калмыкия	Восточный Маныч	720,0	193,0	140	5	1973
Отказненское	Ставропольский край, Советский район	Кума	131,0	12,8	18	24	1965
Всего			2488,8	292,5	300,2		



Рисунок 3 – Космо- и фотоснимки ложа Отказненского водохранилища (Google, 2024 г.)
Figure 3 – Space and photographic images of the Otkaznenskiy reservoir bed (Google, 2024)

Таким образом, проведение на современном уровне мониторинга поступления наносов и переработки берегов мелиоративных водохранилищ на примере объектов-представителей позволит решить ряд актуальных задач:

- для формирования представления о динамике и интенсивности приточной части твердого стока произвести натурные наблюдения за трансформацией твердого стока: в приточной части русла; в ложе водохранилища; на склоновых участках (с различными уклонами и типами покрытия); в границах береговой линии (переработка берегов); в русле водного объекта на выходе из водохранилища;
- произвести гидрометрические измерения (скорости течения, поперечные и продольные сечения, карта дна);
- на основе полученных натуральных данных (за ряд лет наблюдений и в различные гидрологические периоды): 1 – сопоставить их с расчетными

характеристиками по заилению с целью оценки точности расчетных способов и возможности их совершенствования; 2 – создать компьютерные цифровые модели объектов-представителей и на их основе выявить вероятность и местоположение возникновения таких негативных процессов, как заиление и размыв;

- проработать вопрос в области возможных патентных решений и (или) разработать технологию, позволяющую осуществлять транзитный пропуск твердого стока через ложе водохранилища и ГТС плотины;

- разработать рекомендации по подбору оптимальных способов определения количества поступающих наносов в зависимости от типа мелиоративного объекта;

- разработать типизацию мелиоративных объектов по количеству и интенсивности поступления в них твердого стока (с учетом гидрологических особенностей водного объекта и топографических характеристик водосборной площади, непосредственно примыкающей к ложу водохранилища);

- выявить и ранжировать участки по их фактической устойчивости к абразии (за период наблюдений);

- провести анализ на предмет выявления корреляционной зависимости различной степени абразии на типовых участках: 1 – с топологическими особенностями береговой полосы и прилегающей водосборной территории (в т. ч. наличие и степень формирования гидрографической сети, инженерных грунтовых коммуникаций открытого типа); 2 – с наличием, степенью зарастания и видом растительности; 3 – с наличием зданий, строений и тому подобных инженерных коммуникаций открытого типа;

- подобрать инженерные решения по берегозащите и произвести экономическую оценку в укрупненных показателях по сравнению с общепринятыми методами расчистки донных отложений.

Следует отметить, что в настоящее время существует масса наработок как в области борьбы с последствиями (извлечение, транспортировка и

утилизация (рекультивация) наносов различной консистенции), так и в области превентивных мероприятий (устройство всевозможных иловых отстойников, струенаправляющих стенок (шпор) в русле водотока, а также устройство всевозможных илоуловителей на водосборной территории, в т. ч. мероприятия по борьбе с оврагами и обрушением берегов). Имеются научные работы, посвященные проблематике заиливания конкретных водных объектов (рек, каналов, водохранилищ) [7–10, 12–14].

Имеющиеся наработки ученых позволяют обобщить накопленный опыт и кратко сформулировать рекомендуемые мероприятия по предотвращению заиливания:

- строительство водохранилищ в боковых балках, а не в основном русле реки;
- отведение паводков через боковые каналы;
- установка поперечных донных галерей в начале водохранилища;
- устройство донных водоспусков в плотинах;
- создание прудов выше по течению реки;
- формирование специальных объемов для сбора наносов;
- рациональное управление водным режимом;
- агротехнические методы управления водосборной территорией.

Выводы. Проведен анализ статистических данных за 2023 г. о наличии водохранилищ, находящихся в оперативном управлении ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению, который позволил сформировать представление об их количественных и качественных характеристиках. На балансе Департамента мелиорации РФ находится 339 водохранилищ. При суммарном полезном объеме водохранилищ $2,8 \text{ км}^3$ в потенциале может поливаться порядка 934 тыс. га.

Исследования ученых в отношении современного состояния водохранилищ в части заиливания их ложа и, соответственно, сокращения полезного объема иллюстрируют проблематичную ситуацию. Сток твердых на-

носов заиляет ложа водохранилищ как за счет трансформации наносов, влекомых водоисточником и с водосборной территории, так и за счет абразии берегов. Решающая степень влияния какого-либо из этих факторов в настоящее время не выявлена, и связано это с тем, что если по первым двум факторам методика наработана, то в части инструментальных наблюдений существуют сложности. Математических расчетов, позволяющих выполнить прогнозирование, также не существует ввиду многофакторности этого явления.

Целесообразно провести исследования на девяти наиболее крупных водохранилищах мелиоративного назначения по описанным в статье задачам на современном научно-техническом уровне с применением дистанционных методов зондирования Земли, что позволит в итоге сформировать представление об интенсивности протекающих процессов, выявить функциональные закономерности влияющих факторов и подобрать (в т. ч. разработать) оптимальные решения для их минимизации.

Все это в конечном итоге позволит сократить затраты на расчистку водохранилищ мелиоративного назначения.

Список источников

1. Шамов Г. И. Заиление водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1939. 140 с.
2. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ [Электронный ресурс] / подгот. В. С. Вуглинским, Б. С. Цейтлиным, О. В. Польским [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 283 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001181603/?ysclid=m2ob6hfq1529213767 (дата обращения: 12.09.2024).
3. Соколовский Д. Л. Речной сток. Методы исследований и расчетов. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 492 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ / под ред. В. В. Куприянова. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 411 с.
5. Авакян А. Б., Лебедева И. П. Водоохранилища XX века как глобальное географическое явление // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2002. № 3. С. 13–20. EDN: XAOGAV.
6. Современные глобальные изменения природной среды: в 2 т. Т. 2 / отв. ред. Н. С. Касимов, Р. К. Клиге. М.: Научный мир, 2006. 776 с. EDN: WLIIRX.
7. Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Пермь, 27–30 мая 2021 г. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. 542 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/modern-problems-of-reservoirs-and-their-catchments.pdf> (дата обращения: 12.09.2024).

8. Проблемы использования ирригационных водохранилищ в аридной зоне европейской территории России / А. В. Перминов, В. В. Ильинич, С. Н. Редников, Р. С. Маков // Природообустройство: Гидравлика и инженерная гидрология [Электронный ресурс]. 2024. № 3. С. 71–79. URL: <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-71-79> (дата обращения: 12.09.2024).

9. Соболев И. С., Хохлов Д. Н., Красильников В. М. Исследование переформирования берегов водохранилищ Волжского каскада // Тр. науч. конгр. 18-го Междунар. науч.-пром. форума: в 3 т. Т. 1; отв. ред. А. А. Лапшин / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Нижний Новгород, 2016. С. 1–4.

10. Шмакова М. В., Рахуба А. В. Пространственно-временные закономерности переформирования дна Куйбышевского водохранилища // Тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2021. С. 195–200.

11. Новицкий С. Не море, а горе. Цимлянское водохранилище мелеет и нищает // Еженедельник «Аргументы и Факты. АиФ на Дону» [Электронный ресурс]. 24.01.2018. № 4. URL: https://rostov.aif.ru/society/persona/ne_more_a_gore_cimlyanskoe_vodokhranilishche_meleet_i_nishchaet (дата обращения: 12.09.2024).

12. Гостищев В. Д., Сенчуков Г. А., Мартынов Д. В. Локальный мониторинг части акватории Цимлянского водохранилища // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 6–12.

13. Гостищев В. Д., Мартынов Д. В. Изменение батиграфических характеристик Чограйского водохранилища // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 3. С. 47–52.

14. Проведение мониторинга водохранилища «Ростовское море» и 7-го пруда для условий обеспечения ими водопользования малых агрохозяйств / А. В. Ищенко, Д. В. Кашарин, Л. С. Полякова, В. Д. Гостищев // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и перспективы развития мелиорации и водного хозяйства: сб. тр. конф. (Шумаковские чтения), г. Новочеркасск, 29–30 сент. 2011 г. [Электронный ресурс] / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова Донской ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2011. С. 176–183. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21886726> (дата обращения: 12.09.2024). EDN: SKYQDN.

15. Гостищев В. Д., Рыжаков А. Н. Топографическая съемка мелиоративного канала гражданским беспилотным летательным аппаратом // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 148–154.

References

1. Shamov G.I., 1939. *Zailenie vodokhranilishch* [Siltation of Reservoirs]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 140 p. (In Russian).

2. Vuglinsky V.S., Zeitlin B.S., Polsky O.V. [et al.] (prep.), 1983. *Rukovodstvo po gidrologicheskim raschetam pri proektirovanii vodokhranilishch* [Guide to Hydrological Calculations in the Reservoir Design]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 283 p., available: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001181603/?ysclid=m2ob6hmq1529213767 [accessed 12.09.2024]. (In Russian).

3. Sokolovsky D.L., 1952. *Rechnoy stok. Metody issledovaniy i raschetov* [River Run-off. Research and Calculation Methods]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 492 p. (In Russian).

4. Kupriyanov V.V. (ed.), 1973. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 8. Severnyy Kavkaz* [Surface Water Resources of the USSR. Vol. 8. North Caucasus]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 411 p. (In Russian).

5. Avakyan A.B., Lebedeva I.P., 2002. *Vodokhranilishcha XX veka kak global'noe geograficheskoe yavlenie* [Reservoirs of the 20th century as a global geographical phenome-

non]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], no. 3, pp. 13-20, EDN: XAOGAV. (In Russian).

6. Kasimov N.S., Klige R.K. (resp. eds.), 2006. *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoy sredy: v 2 t. T. 2* [Modern Global Changing of Earth Environment: in 2 volumes, vol. 2]. Moscow, Nauchnyy Mir Publ., 776 p., EDN: WLIIRX. (In Russian).

7. *Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov: tr. VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Modern problems of reservoirs and their catchments: Proc. of the VIII All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation]. Perm State National Research University, Perm, 2021, 542 p., available: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/modern-problems-of-reservoirs-and-their-catchments.pdf> [accessed 12.09.2024]. (In Russian).

8. Perminov A.V., Ilyinich V.V., Rednikov S.N., Makov R.S., 2024. *Problemy ispol'zovaniya irrigatsionnykh vodokhranilishch v aridnoy zone yevropeyskoy territorii Rossii* [Problems of using irrigation reservoirs in the arid zone of European Russia]. *Prirodoobustroystvo: Gidravlika i inzhenernaya gidrologiya* [Environmental Engineering: Hydraulics and Engineering Hydrology], no. 3, pp. 71-79, available: <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-71-79> [accessed 12.09.2024]. (In Russian).

9. Sobol I.S., Khokhlov D.N., Krasilnikov V.M., 2016. *Issledovanie pereformirovaniya beregov vodokhranilishch Volzhskogo kaskada* [Study of the Volga cascade reservoir banks reformation]. *Tr. nauch. kongr. 18-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma: v 3 t. T. 1* [Proceedings of the Scientific Congress of the 18th International Scientific and Industrial Forum: in 3 volumes, vol. 1]. Nizhny Novgorod State Architectural and Civil Engineering University, Nizhny Novgorod, pp. 1-4. (In Russian).

10. Shmakova M.V., Rakhuba A.V., 2021. *Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti pereformirovaniya dna Kuybyshevskogo vodokhranilishcha* [Spatio-temporal patterns of the reformation of the Kuibyshev reservoir bottom]. *Tr. VIII Vseros. nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov»* [Proc. of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation “Modern Problems of Reservoirs and Their Catchments”]. Perm, Perm State National Research University, pp. 195-200. (In Russian).

11. Novitsky S., 2018. *Ne more, a gore. Tsimlyanskoe vodokhranilishche meleet i nishchaet* [Not a sea, but a grief. The Tsimlyansk reservoir is becoming shallow and impoverished]. *Ezhenedel'nik «Argumenty i Fakty. AiF na Donu»* [Weekly “Arguments and Facts. AiF on the Don”], 24.01.2018, no. 4, available: https://rostov.aif.ru/society/persona/ne_more_a_gore_cimlyanskoe_vodokhranilishche_meleet_i_nishchaet [accessed 12.09.2024]. (In Russian).

12. Gostishchev V.D., Senchukov G.A., Martynov D.V., 2018. *Lokal'nyy monitoring chasti akvatorii Tsimlyanskogo vodokhranilishcha* [Local monitoring of a part of the Tsimlyansk reservoir water area]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 6-12. (In Russian).

13. Gostishchev V.D., Martynov D.V., 2021. *Izmenenie batigraficheskikh kharakteristik Chograyskogo vodokhranilishcha* [Changes in the Chogray reservoir bathygraphic characteristics]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3, pp. 47-52. (In Russian).

14. Ishchenko A.V., Kasharin D.V., Polyakova L.S., Gostishchev V.D., 2011. *Provedenie monitoringa vodokhranilishcha «Rostovskoe more» i 7-go pruda dlya usloviy obespecheniya imi vodopol'zovaniya malyykh agrokhozyaystv* [Monitoring the Rostov Sea reservoir and the 7th pond to ensure water use by small agricultural enterprises]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: problemy i perspektivy razvitiya melioratsii i vodnogo khozyaystva: sb. tr. konferentsii (Shumakovskie chteniya)* [Land Reclamation and Water Management: Problems and Prospects for the Development of Land Reclamation and Water Management: Collection of Papers of

the Conference (Shumakov Readings)]. Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov Donskoy SAU, Novocherkassk, Lik Publ., pp. 176-183, available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21886726> [accessed 12.09.2024], EDN: SKYQDN. (In Russian).

15. Gostishchev V.D., Ryzhakov A.N., 2019. *Topograficheskaya s'emka meliorativnogo kanala grazhdanskim bespilotnym letatel'nyy apparatom* [Topographic survey of a reclamation canal by the unmanned aerial vehicle]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(73), pp. 148-154. (In Russian).

Информация об авторах

Г. А. Сенчуков – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, g19752011@mail.ru;

В. Д. Гостищев – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, nb515@mail.ru.

Information about the authors

G. A. Senchukov – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, g19752011@mail.ru;

V. D. Gostishchev – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, nb515@mail.ru.

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 13.09.2024; одобрена после рецензирования 03.10.2024; принята к публикации 13.11.2024.

The article was submitted 13.09.2024; approved after reviewing 03.10.2024; accepted for publication 13.11.2024.