

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ  
ЧАЙКА, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙА. П. Истомин<sup>1,\*</sup> , А. С. Межевова<sup>1</sup> , С. А. Истомин<sup>1</sup> , и И. Д. Хренов<sup>1</sup><sup>1</sup>ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, Россия\* **Контакт:** Александр Петрович Истомин, istomin-ap@vfanc.ru

Проведена оценка состояния водных экосистем северной («высокой») части Волго-Ахтубинской поймы (на примере ерика Песчаный озерной системы Чайка). По результатам мониторинга 2021–2023 гг. изучен современный гидрологический режим озерной системы Чайка, подготовлены рекомендации по предупреждению деградации водных объектов, входящих в систему. Зафиксирована эффективность осуществления мероприятий по расчистке водных объектов поймы и строительству регулирующих водопропускных сооружений (ВПС). Выполнен мониторинг прохождения весеннего половодья на озерной системе Чайка, расположенной на территории Волго-Ахтубинской поймы. Выявлена зависимость направления тока воды по водным объектам озерной системы в зависимости от осуществления сбросных расходов через Волгоградский гидроузел и обводненности водных объектов Каширинского и Краснослободского водных трактов. Подготовлены рекомендации по управлению регулирующими водопропускными сооружениями с целью эффективного обводнения озерной системы Чайка с учетом гидрологического режима Краснослободского и Каширинского водных трактов. Проведено ретроспективное дешифрирование космических снимков Landsat-5, Landsat-7 и Sentinel-2, в результате которого выявлено деградированное озеро и предложены рекомендации для его восстановления. Проведены комплексные исследования воды и донных отложений, в том числе на загрязненность тяжелыми металлами и пестицидами. Выявлено, что концентрация некоторых из исследуемых элементов превышает норматив или близится к превышению. Даны рекомендации по дальнейшему наблюдению за состоянием водных объектов озерной системы Чайка, а так же предложен возможный вариант использования донных отложений.

**Ключевые слова:** национальный проект «Экология», качество воды, донные отложения, химический состав, озерная система Чайка, экологическая реабилитация.

**Цитирование:** Истомин, А. П., А. С. Межевова, С. А. Истомин, и И. Д. Хренов Особенности гидрологического режима озерной системы Чайка, оценка качества воды и донных отложений // Russian Journal of Earth Sciences. — 2024. — Т. 24. — ES5005. — DOI: 10.2205/2024es000950 — EDN: FDPMRM

### Введение

Одной из актуальных проблем современного общества является сохранение и поддержание экологически приемлемого качества вод. Данный вопрос активно обсуждается в мировом научном сообществе. [Терещенко и др., 2023; He et al., 2021; Zhao et al., 2020a; Zheng et al., 2021]. Научные исследования в сфере изучения состояния водных объектов являются на сегодняшний день крайне актуальными, а оценка долгосрочных изменений качества воды имеет важное научное и практическое значение. Одним из источников пресной воды в мире являются водные объекты вместе с их экосистемами, которые используются в различных отраслях хозяйственной деятельности. Стоит отметить, что в настоящее время остаются актуальными проблемы рационального водопользования и эффективного управления водными ресурсами в контексте продолжающегося изменения климата [Порфирьев и др., 2022; Cenci and Martin, 2004; Chen et al., 2020;

<https://elibrary.ru/fdpmmr>

Получено: 22 июля 2024 г.

Принято: 5 ноября 2024 г.

Опубликовано: 2 декабря 2024 г.



© 2024. Коллектив авторов.

*Zhao et al., 2020b*]. Существует вероятность аридизации климата на юге европейской части России и Западной Сибири [*Катцов и Семенов, 2014*], что сделает проблему водообеспечения этих регионов особенно острой.

Можно также отметить долины крупных рек, таких как Тигр, Евфрат, Нил, Инд, Ганг, Хуанхэ, Янцзы, где образовались первые цивилизации из-за благоприятных условий для развития сельского хозяйства. В настоящее время пойменные территории крупных рек подвержены активному антропогенному воздействию [*Архинов, 2017*].

Вопрос восстановления водных объектов и пойменных территорий является в настоящее время актуальным как за рубежом, так и на территории России. На территории Европейского союза действует стратегия биоразнообразия (Biodiversity Strategy), представляющая собой комплексный план по защите природы и предотвращению деградации экосистем. В 1995 году для этих целей был основан Европейский центр восстановления рек (ECRR, European Centre for River Restoration) [*Сазонов и др., 2015; Verheij et al., 2021*]. На территории Российской Федерации активно реализуются федеральные проекты «Оздоровление Волги» и «Сохранение уникальных водных объектов» национального проекта «Экология». Завершение указанных федеральных проектов запланировано на 2024 год. Учитывая, что необходимость выполнения мероприятий по восстановлению водных объектов сохраняется, в настоящее время под эгидой Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации осуществляется формирование объединенного федерального проекта по экологическому оздоровлению водных объектов России [*Беляев и др., 2021*].

Волго-Ахтубинская пойма – уникальная экологическая система засушливого юга России. На территории встречаются редкие виды птиц, млекопитающих и рыб, в 2000 г. образован природный парк «Волго-Ахтубинская пойма», призванный обеспечить соблюдение природоохранного режима. Территория Волго-Ахтубинской поймы характеризуется высокой степенью антропогенной трансформации, оказывающей негативные изменения на практически все компоненты ландшафта, динамику развития и разнообразия экосистем [*Kholodenko et al., 2022*].

Учитывая актуальность, федеральным проектом «Оздоровление Волги» восстановление уникальных объектов Волго-Ахтубинской поймы предусмотрено отдельной строкой. В результате создания Волжско-Камского каскада водохранилищ управляющие органы поддерживают параметры специальных весенних попусков, приведенные к среднему многолетнему значению, отклоняясь только в многоводные (2016 г.) и маловодные (2006, 2015 гг.). Вследствие неблагоприятной гидрологической обстановки происходит снижение воспроизводства биологических ресурсов, а также деградация водно-болотных угодий и пойменных лесов [*Болгов и др., 2017; Горелиц и Землянов, 2013*].

Научная новизна исследований особенностей гидрологического режима обусловлена значительным переустройством гидрографической сети поймы в рамках реализации мероприятий, предусмотренных национальным проектом «Экология» (расчистка и экологическая реабилитация водных объектов, строительство гидротехнических сооружений).

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы является исследование современного гидрологического режима территории Волго-Ахтубинской поймы на примере озерной системы Чайка, подготовка предложений по предотвращению её деградации, а также определение возможности использования ресурсов озерной системы (вода, донные отложения) в сельском хозяйстве.

### Материалы и методы

Объект исследований расположен на территории Волго-Ахтубинской поймы в границах Среднеахтубинского района Волгоградской области. Озерная система Чайка является типичной озерной системой Волго-Ахтубинской поймы, которая вследствие изменения гидрологических условий подвержена процессам деградации. В рамках национального проекта «Экология» в озерной системе Чайка реализованы природо-

охранные мероприятия, включающие расчистку и реабилитацию водных объектов, а также строительство и реконструкцию водопропускных сооружений (ВПС) [Беляев и др., 2023].

В период весеннего половодья в 2023 году в соответствии с методикой ГСИ («Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь» МИ 1759-87») проведён мониторинг уровня воды на ВПС №117, 113, 151 и 85, которые использовались в качестве гидрологических постов. Уровень воды над нулем поста измерялся при помощи гидрометрической рейки ГР-56М, а скорость течения при помощи измерителя скорости потока ИСП-1М. Все водопропускные сооружения, на которых проводился мониторинг, представляют собой прямоугольную трубу 2000 мм на 2000 мм. В процессе мониторинга также определялось направление течения воды через водопропускные сооружения.

Данные водопропускные сооружения выбраны как определяющие возможность захода воды в озёрную систему Чайка из Краснослободского и Каширинского водных трактов, через водные объекты, которые были расчищены в результате природоохранных мероприятий.

Для анализа рассматриваемой территории, проведено ретроспективное дешифрирование космических снимков Landsat-5, Landsat-7 и Sentinel-2 на которых выделена площадь исследуемого водного объекта в пиках половодья (или максимально приближенные к ним даты) в 1985, 1995, 2004, 2016, 2022 и 2023 годах.

В настоящих исследованиях для измерения содержания химических элементов в воде и донных грунтах проводили определение 15 элементов в воде и 5 элементов в донных грунтах. Содержание исследуемых химических элементов, как известно, в большей степени характеризует состояние вод в текущий момент времени, а химический состав донных отложений даёт представление об интегральной характеристике экологического состояния водных экосистем.

Отбор проб донных отложений проводили согласно РД 52.24.609-2013 при помощи дночерпателя.

Содержание водорастворимых форм катионов и анионов в донных отложениях проводили методом капиллярного электрофореза по методикам ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69-10 и ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.74-2012.

Агрохимический состав донных отложений определяли согласно следующим методикам: рН водной вытяжки определяли по ГОСТ 26423-85, органическое вещество по ГОСТ 26213-91, азот общий по ПНД Ф 16.1:2:2.3.82-2013, фосфор общий по ПНД Ф 16.2:2.3.73-2012, калий общий по ГОСТ 26718-85.

Тяжелые металлы в пробах донных отложений определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии по методике ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.3.36-2002 и ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.17-98.

Определение массовой доли пестицидов в пробах донных отложений проводили методом газовой хроматографии с использованием детектора типа электронного захвата с применением разделительных фаз различной полярности путём сравнения площади пика анализируемого и градуировочного растворов (РД 52.18.180-2011).

Оценку донных отложений проводили с использованием норм и критериев оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, разработанный на основе норм и критериев Голландии, предложенных Агентством по охране окружающей среды Голландии (DCMR), Центром исследования почв и грунтов (ТНО) и фирмой «HASKONING» [Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, 1996].

## Результаты и их обсуждение

Территория озёрной системы Чайка является типичным ландшафтом Волго-Ахтубинской поймы. Реализованные природоохранные мероприятия позволили значительно улучшить ситуацию по обводнению данной озёрной системы, а также обеспечить сохранение воды в меженьный период [Беляев и др., 2023].

В результате проведенного мониторинга в период половодья 2021–2023 годов [Истомин и Истомин, 2024] установлено, что начало заполнения озерной системы Чайка в период половодья осуществляется с Каширинского водного тракта при сбросных расходах через Волгоградский гидроузел более 20 000 куб. м/с через ВПС №117, расположенное на ерике Песчаный (табл. 1). После реконструкции данного сооружения, его пропускная способность увеличилась более чем в 10 раз. За период специального весеннего пуща через Волгоградский гидроузел через указанное сооружение прошло 3,043 млн куб. м воды. Данный объем воды позволил обводнить озерную систему Чайка и обеспечить запас воды на период межени [Беляев и др., 2023].

Направление потока воды через водопропускные сооружения №85, 113, 151 изменялся в зависимости от уровня воды в Краснослободском водном тракте (оз. Дегтярное) (табл. 1).

При проведении исследований, авторами установлено, что в начале половодья и подъема воды в озерной системе Чайка, вода начинает поступать через протоки и водопропускные сооружения №113, 151 и 85 в Краснослободский водный тракт, обводнение которого из р. Волга затруднено ввиду наличия двух переливных плотин на ерике Верблюды (Затонский) [Истомин и др., 2023]. Посредством водных объектов озерной системы Чайка образуется гидравлическая связь между Каширинским и Краснослободским водными трактами. В результате проведенного мониторинга весеннего половодья на водопропускных сооружениях озерной системы Чайка установлено направление движения воды в самой озерной системе при различных расходах через Волгоградский гидроузел (рис. 1).

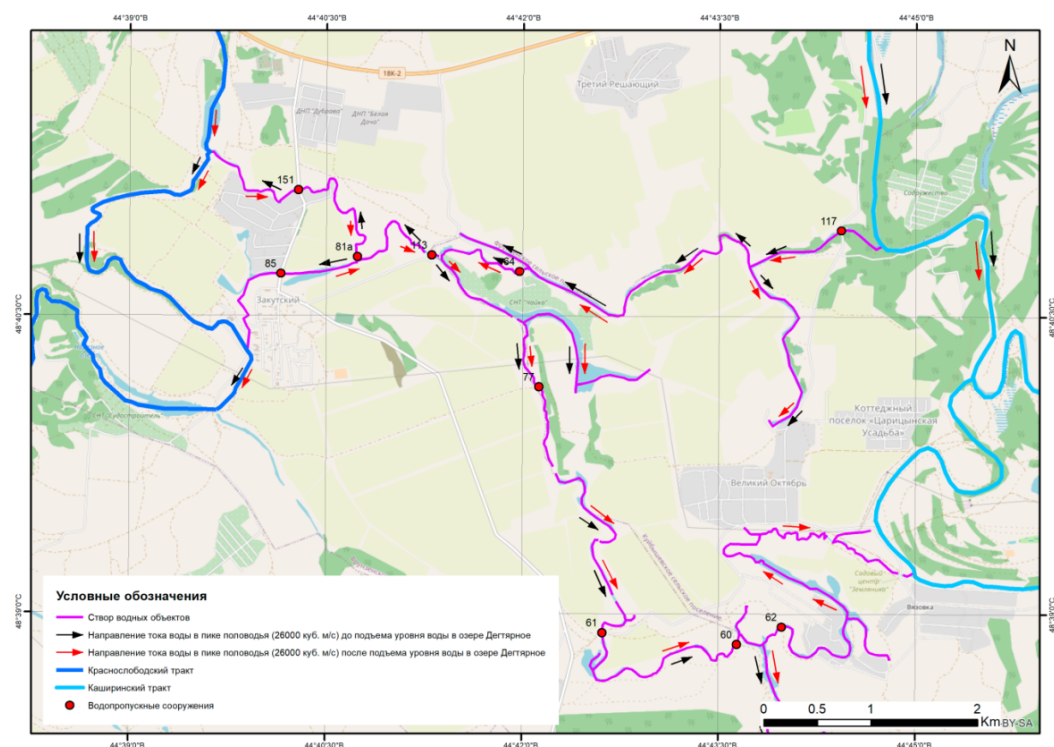


Рис. 1. Направление движения воды в половодье в озерной системе Чайка.

В конце половодья, при заполнении Краснослободского водного тракта происходит выравнивание уровней воды с озерной системой Чайка и однонаправленный ток из озерной системы разворачивается в обратную сторону. За период весеннего половодья 2023 года через ВПС №113 произошел переток воды из озерной системы Чайка в Краснослободский водный тракт объемом 0,791 млн куб. м.

В целях эффективного обводнения озерной системы Чайка необходимо во время весеннего половодья осуществлять регулирование поступления воды в Краснослободский водный тракт посредством перекрытия ВПС №113. После наполнения озерной

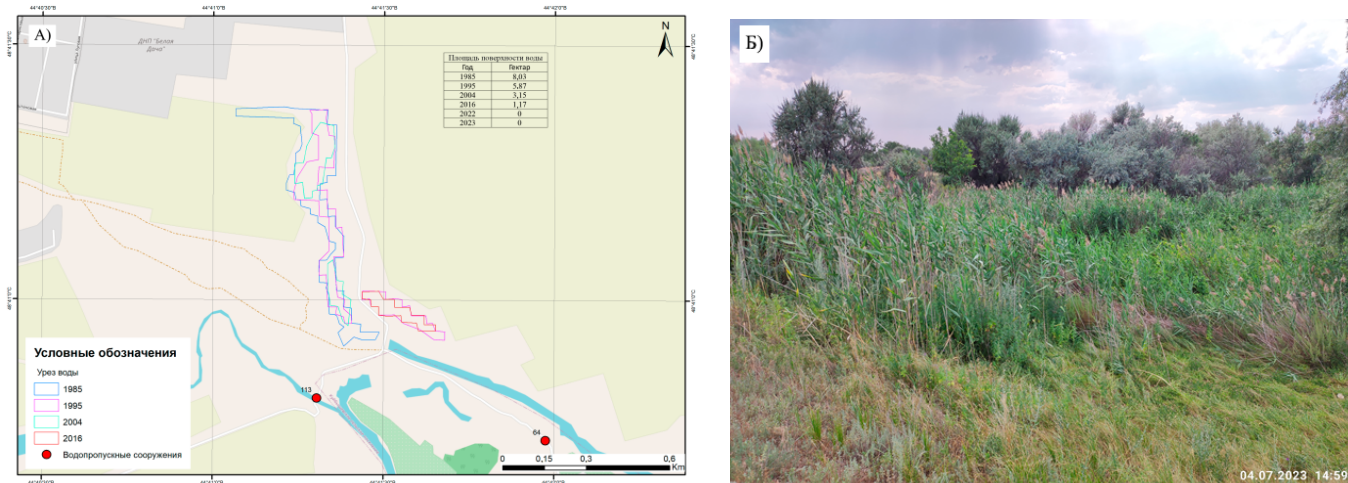
Таблица 1. Результаты мониторинга на водопропускных сооружениях [Истомин и Истомин, 2024]

Номер ВПС	Дата	Уровень воды над нулем поста, м	Скорость течения, м/с	Расход воды через ВПС, куб. м/с	Направление тока воды	Расход воды через Волгоградский гидроузел, куб. м/с
117	14.04.2023	0	0	0	Ток отсутствует	19210
	15.04.2023	0,50	1,58	1,58	В озерную систему Чайка	21130
	16.04.2023	0,85	1,612	2,74		22840
	17.04.2023	1,30	1,715	4,459		25610
	18.04.2023	1,65	2,066	6,8178		25790
	19.04.2023	1,85	1,216	4,4992		25680
	20.04.2023	1,95	1,175	4,5825		25690
	21.04.2023	2,00	1,213	4,852		25610
	22.04.2023	2,00	1,423	5,692		22680
	23.04.2023	Закрытие шандор	–	–	Ток отсутствует	19600
113	17.04.2023	1,1	0,644	1,4168	Из озерной системы Чайка	25610
	18.04.2023	1,7	0,607	2,0638		25790
	19.04.2023	1,8	1,076	3,8736		25680
	20.04.2023	1,9	0,845	3,211		25690
	21.04.2023	2	0,353	1,412	В озерную систему Чайка	25610
	22.04.2023	Закрытие шандор	–	–	Ток отсутствует	22680
85	18.04.2023	0	0	0	Ток отсутствует	25790
	19.04.2023	0,35	1,017	0,7119	Из озерной системы Чайка	25680
	20.04.2023	1,3	0,087	0,2262	25690	
	21.04.2023	1,45	0,04	0,116	В озерную систему Чайка	25610
	22.04.2023	1,6	0,04	0,128	22680	
151	15.04.2023	0	0	0	Ток отсутствует	21130
	16.04.2023	0	0	0	22840	
	17.04.2023	0,05	0,2	0,02	Из озерной системы Чайка	25610
	18.04.2023	0,5	1,506	1,506		25790
	19.04.2023	0,85	1,052	1,7884		25680
	20.04.2023	1,73	0,061	0,21106	В озерную систему Чайка	25690
	21.04.2023	1,9	0,066	0,2508		25610
	22.04.2023	2	0,075	0,3		22680

системы Чайка и началом тока воды на ВПС №60 и 62, при необходимости, следует открыть сооружение №113.

Расчистка ерика Чайка являлся одним из мероприятий, реализованных при комплексной экологической реабилитации озерной системы Чайка. Ерик Чайка является в настоящее время тупиковым. Используя данные дистанционного зондирования Земли, при ретроспективном анализе рассматриваемой территории установлено, что ранее, в тупиковой части ерика Чайка существовало озеро потенциальной площадью 12 га.

В результате анализа космических снимков Landsat-5, Landsat-8 и Landsat-9 авторами выделена площадь деградированного водного объекта в пиках половодья (или максимально приближенные к ним даты) в 1985, 1995, 2004, 2016, 2022 и 2023 годах (рис. 2а).



**Рис. 2.** Исследуемое озеро. А – ретроспективный анализ поверхности воды в озере; Б – современное состояние озера (Фото авторов).

Наибольшая площадь водной поверхности (8,03 га) по данным дистанционного зондирования на данном озере зафиксирована в 1985 году. Впоследствии, площадь водного объекта сокращалась с течением лет. В 2022–2023 годах вода в озере не отмечалась, что подтвердили данные, полученные в результате верификационных выездов в различные гидрологические фазы.

В настоящее время ложе озера заросло тростником обыкновенным (*Phragmites australis*), по бортам ложа озера отмечают древесные растения, представленные лохом узколистным (*Elaeagnus angustifolia*), дубом черешчатым (*Quercus robur*) и ивой (*Salix*) (рис. 2б).

Для восстановления водного объекта, учитывая результаты анализа ранее выполненных природоохранных мероприятий в озерной системе Чайка, которые показали свою эффективность при обводнении территории [Беляев и др., 2023], авторами предлагается возведение регулируемого водопропускного сооружения. Данное водопропускное сооружения необходимо возводить на месте существующей пересыпки, по которой проходит автомобильная дорога с грунтовым покрытием от трассы Средняя Ахтуба-Краснослободск до СНТ Чайка.

Для определения абсолютной отметки низа трубы перспективного (предлагаемого к реализации) водопропускного сооружения, проведено нивелирование местности от ВПС №113 (низ трубы) до точки предполагаемой авторами, на которой необходимо установить водопропускное сооружение (рис. 3).

В результате нивелирования местности, авторами предлагается рассмотреть вопрос установки на ерике Чайка прямоугольного регулируемого водопропускного сооружения 2000 мм на 2000 мм на отметке низа трубы  $-7,5$  м БС. Учитывая гидравлическую связь, в пике половодья (25 000–27 000 куб. м/с) на данном перспективном водопропускном сооружении отметка уровня воды будет на уровне 1,8–2 м от низа трубы, что позволит наполнить озеро водой. Площадь восстановленного водного объекта после строительства сооружения оценивается в 10–12 га.

Для обеспечения проточности восстановленного озера предлагается запроектировать и реализовать природоохранные мероприятия по устройству протоки от восстановленного озера до ВПС №151.

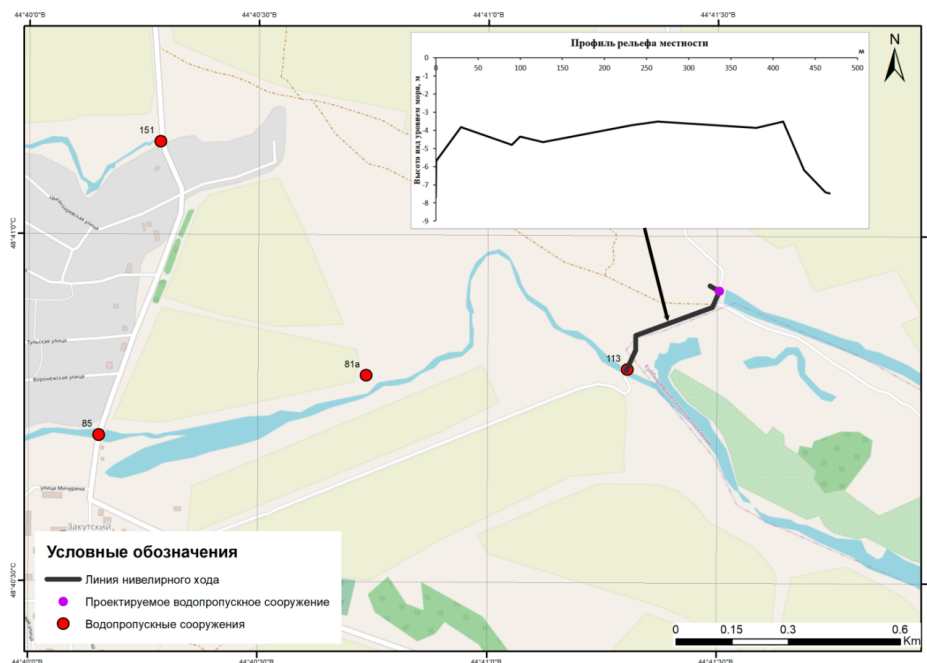


Рис. 3. Картограмма расположения предлагаемого водопропускного сооружения.

Поступление воды в период весеннего половодья в озерную систему Чайка из Каширинского водного тракта осуществляется через ерик Песчаный и водопропускное сооружение №117. Качество воды в озерной системе Чайка напрямую зависит от качества воды в Каширинском водном тракте, ерике Песчаный и содержании химических элементов в донных отложениях. Поступающие в водные объекты загрязнения, накапливаются в донных отложениях и могут быть источником «вторичного» загрязнения водных ресурсов озерной системы Чайка (рис. 4).

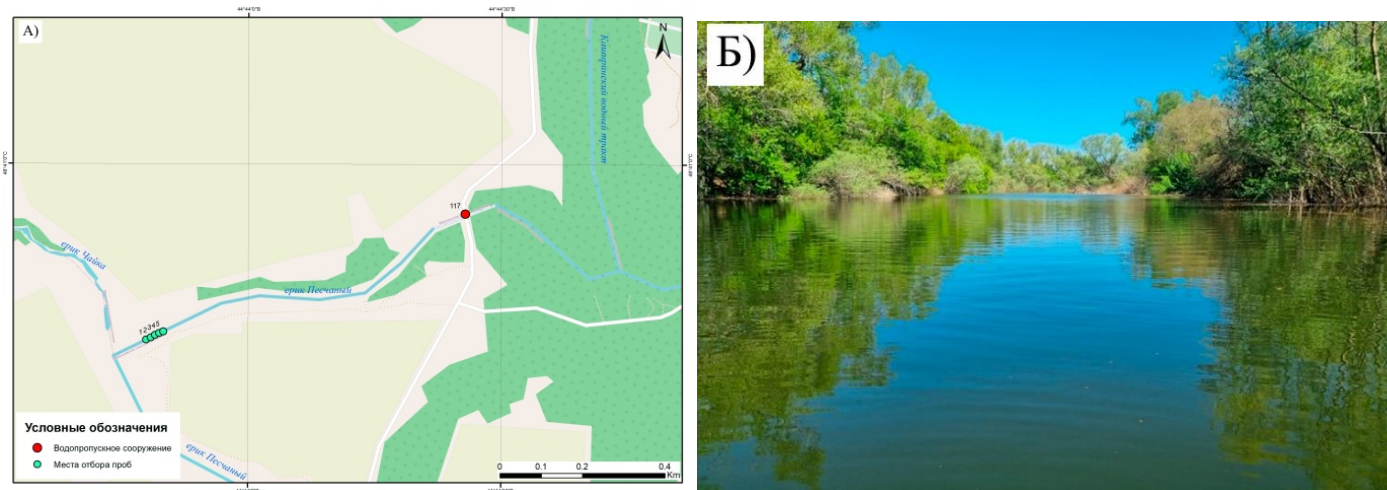


Рис. 4. Отбор проб воды из ерика Песчаный. А – Картограмма отбора проб воды в ерике Песчаный; Б – Фото объекта исследований, ерик Песчаный (Фото авторов).

Результаты полевых измерений физико-химических характеристик воды представлены в табл. 2.

Исследования проб воды проводили по 19 показателям, среди которых солесодержание, сухой остаток, жесткость общая, катионно-анионный состав.

Результаты вышеописанных исследований представлены в табл. 3.

**Таблица 2.** Физико-химические характеристики воды

Дата, район проведения исследований	Физико-химические характеристики воды	
	Общая минерализация, г/л	Температура воды, °С
17.04.2023 г., ВПС №117	0,25	9,4
14.09.2023 г., ВПС №117	0,27	21,0

Данные о химическом составе воды сравнивались с нормами, установленными в документе, регулирующем качество водных объектов для рыбохозяйственных целей (Приказ Минсельхоза России номер 552 от 2016 года), а также с нормами, утвержденными в документе, устанавливающем гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности факторов окружающей среды для человека (СанПиН 1.2.3685-21).

Анализ *табл. 3* свидетельствует, что показатель рН вод соответствовал требованиям нормативных документов. В целом концентрации элементов в воде находились на одном уровне и не превышали концентрации допустимые нормативами для рыбохозяйственных водоемов и ПДК СанПиН 1.2.3685-21. Однако содержание стронция в воде, отобранной с поверхности, составляет от 0,5 до 0,6 мг/л, а в воде, взятой с придонных слоев, это значение колеблется от 0,4 до 0,5 мг/л. Согласно нормативам, этот показатель не должен превышать 0,4 мг/л (ПДК<sub>рх</sub>). Стронций относится к группе щелочноземельных металлов и обычно природное содержание стронция в речных водах составляет в среднем 0,1 мг/л, однако встречаются районы, где фиксируется его повышенное содержание. Основное количество стронция подземные воды и реки получают из почвы. Выпадение атмосферных осадков способствует протеканию данного процесса. Также стронций может попадать в водные объекты со сточными водами, в результате деятельности промышленных предприятий, из подземных и горных пород и даже из воздуха. Устойчивое содержание таких концентраций или увеличение концентраций могут негативно сказываться на экологическом состоянии водных объектов. Необходимо отметить, что такой металл как стронций не входит в число приоритетных элементов при исследовании экологического состояния водных объектов, однако его поведение и распространение в природных водах остается неизученным.

Сравнение концентраций элементов в поверхностной и придонной воде с нормативами качества водных объектов рыбохозяйственного значения свидетельствует, что превышение ПДК<sub>рх</sub> наблюдалось аналогично только для стронция.

Стоит сказать, что из всех исследуемых элементов необходимо также уделить внимание полученным концентрациям сульфатов в воде, содержание которых колебалось от 66,2 мг/л до 96,1 мг/л (при ПДК<sub>рх</sub> – 100 мг/л), в связи с чем требуются дальнейшие мониторинговые исследования по данному показателю, так как превышение может негативно влиять на экологическое состояние водных экосистем.

При анализе проблем экологической обстановки водных объектов важно изучать донные отложения, а их изъятие в процессе расчистки водоемов может помочь решить такие значительные проблемы, как чрезмерное заиливание водных объектов и уменьшение внутреннего эвтрофического воздействия донных отложений.

Исследования показывают, что применение в сельскохозяйственной, городской и лесной отраслях нетрадиционных видов органических удобрений, включая сапропели и различные мелиоранты, может быть востребованным [Ветчинников и др., 2018; Ильинский и др., 2020; Межевова, 2020]. К примеру, подобные типы сапропелей после необходимой обработки и очистки могут быть использованы на сельскохозяйственных угодьях, могут включаться в смесь с навозом, разнообразными отходами и минеральными удобрениями.



Таблица 3. Химический состав исследуемых проб

Показатель	Нормативная документация	Поверхностный слой					Придонный слой					ПДК (Приказ Минсельхоза РФ №552 от 13.12.16 г.)	ПДК (СанПиН 1.2.3685-21)
		Т №1	Т №2	Т №3	Т №4	Т №5	Т №1	Т №2	Т №3	Т №4	Т №5		
Аммоний, мг/л		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	1,5
Калий, мг/л		2,6	2,9	2,7	2,6	2,7	2,5	2,5	2,5	2,3	2,6	50	–
Натрий, мг/л		17,4	18,0	17,9	16,6	17,7	14,8	15,5	15,8	14,5	16,3	120	200
Литий, мг/л	ПНД Ф	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	0,08	0,03
Магний, мг/л	14.1:2:4.167-2000	12,5	13,1	13,0	12,0	12,9	10,2	10,8	11,2	10,9	11,5	40	50
Стронций, мг/л		0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	7
Барий, мг/л		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,74	0,7
Кальций, мг/л		55,5	57,1	56,0	53,0	55,7	44,7	45,8	46,5	47,6	47,8	180	–
Хлорид, мг/л		26,4	26,5	26,6	26,2	26,0	26,9	26,0	26,3	26,0	26,6	300	350
Нитрит, мг/л		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,08	3,0
Сульфат, мг/л	ПНД Ф	73,9	66,2	75,8	68,3	79,1	89,6	90,7	92,6	72,4	96,1	100	500
Нитрат, мг/л	14.1:2:3:4.282-18	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	40	45
Фторид, мг/л		0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,75	1,5
Фосфат, мг/л		<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,15	–
Общая жесткость	ПНД Ф 14.1:2:3.98-97	5,1	5,1	4,6	5,8	5,6	5,9	5,3	4,9	5,3	5,8	7	–
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	ФР.1.31.2014.19122	1	3	4	0	2	5	1	0	2	4	–	–
Водородный показатель (рН)	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	8,7	8,6	8,5	8,5	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	Должен соответствовать фоновому значению показателя для воды водного объекта рыбохозяйственного значения	6,0–9,0
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	ФР.1.31.2010.07463	343	336	348	306	318	368	354	316	315	329	1000	–
Гидрокарбонаты, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2:3.99-97	143	143	146	149	140	143	143	146	149	140	–	–

Одним из таких мелиорантов могут стать и донные отложения, извлекаемые при расчистке водоемов. При рассмотрении возможности применения донных отложений в качестве компонента нетрадиционных органических удобрений необходимо иметь представление об их составе. В рамках этих исследований был проведен анализ агрохимического состава донных отложений (табл. 4).

**Таблица 4.** Агрохимический состав донных отложений

Показатель	Нормативная документация	ДО №1	ДО №2	ДО №3	ДО №4	ДО №5
рН водной вытяжки	ГОСТ 26483-85	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Органическое вещество, %	ГОСТ 26213-91	8,7	8,0	8,6	9,3	11,3
Азот общий, %	ПНД Ф 16.1:2:2.3.82-2013	0,7	0,8	0,8	0,8	1
Фосфор общий, %	ПНД Ф 16.2:2.3.73-2012	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Калий общий, %	ГОСТ 26718-85	0,7	0,5	0,7	0,7	0,3

Важно понимать, что химические составляющие и свойства донных осадков значительно различаются, так как они зависят от условий их образования, видового разнообразия флоры и фауны в данной области, глубины залегания и других факторов. Анализ показывает, что содержание органического вещества в донных осадках варьировалось от 8,0 % до 11,3 %, общего азота от 0,7 % до 1 %, общего калия от 0,3 % до 0,7 %. Содержание общего фосфора составило 0,2 %, а рН водной вытяжки 7,0 ед.

Также важной характеристикой донных отложений является оценка их загрязненности тяжелыми металлами и пестицидами. Данные представлены в табл. 5.

Необходимо отметить, что нормативная база для оценки донных отложений в Российской Федерации не разработана. Для оценки донных отложений осуществляли с использованием норм и критериев оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, разработанный на основе норм и критериев Голландии, предложенных Агентством по охране окружающей среды Голландии (DCMR), Центром исследования почв и грунтов (TNO) и фирмой «HASKONING» [*Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, 1996*].

Полученные данные показали, что более высокие концентрации отмечены для ртути и кадмия. Концентрации пестицидов (альфа-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, П,П'-ДДЭ, П,П'-ДДТ) были ниже предела детектирования и не подвергались оценке. Согласно критериям, исследуемые донные отложения относятся к классу умеренно-загрязненных донных отложений (II класс) [*Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, 1996*]. Фактическое содержание ртути (0,75 мг/кг) и кадмия (2,12 мг/кг) отмечено на уровне между предельным и проверочным уровнем; по остальным исследуемым показателям превышений нет. Класс отложений определяется по загрязняющему веществу, попадающему в самый высокий класс загрязнения. Полученные результаты указывают на потенциально-критические элементы, за которыми необходимы постоянные мониторинговые наблюдения, а полученные данные будут использованы для прогнозирования и оценки экологического состояния водных экосистем Волго-Ахтубинской поймы.

При планировании мер по охране окружающей среды для восстановления водных объектов требуется спрогнозировать накопление различных загрязняющих элементов в донных осадках. Важно обладать информацией о загрязнении не только тяжелыми металлами и пестицидами, но также и прочими токсичными веществами и компонентами.

**Таблица 5.** Содержание тяжелых металлов и пестицидов в донных отложениях

Показатель	Нормативная документация	Фактическое содержание, мг/кг	Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах (Санкт-Петербург)			
			Целевой уровень	Предельный уровень	Проверочный уровень	Уровень, требующий вмешательства
Мышьяк	ПНД Ф 16.1:2.2:3.17-98	1,10	29	55	55	55
Ртуть	РД 52.18.827-2016	0,75	0,3	0,5	1,6	10
Кадмий		2,12	0,8	2	7,5	12
Марганец		370,8	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.
Медь		8,54	35	35	90	190
Никель		2,60	35	35	45	210
Свинец	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02	18,5	85	530	530	530
Цинк		75,2	140	480	720	720
Хром		58,2	100	380	380	380
Кобальт		40,5	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.
Молибден	ГОСТ Р 50689-94	0,34	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.
альфа-ГХЦГ*	РД 52.18.180-2011	менее 0,01	0,0025	–	0,02	–
гамма-ГХЦГ*	РД 52.18.180-2011	менее 0,01	0,00005	0,001	0,02	–
П,П'-ДДЭ**	РД 52.18.180-2011	менее 0,005	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.
П,П'-ДДТ***	РД 52.18.180-2011	менее 0,01	0,0025	0,01	0,02	4

Примечание: \* – ГХЦГ – гексахлорциклогексан; \*\* – ДДЭ – дихлордифенилдиэтилэтилен; \*\*\* – ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан

Отобранные образцы донных отложений были также исследованы с помощью метода капиллярного электрофореза для определения содержания водорастворимых форм катионов и анионов. Данные представлены в [табл. 6](#)

**Таблица 6.** Катионно-анионный состав донных отложений

Показатель	Результат испытаний, мг/кг
Хлорид	32,7
Фторид	менее 1
Фосфат	менее 3
Формиат	3,41
Сульфат	398
Нитрат	менее 3
Оксалат	менее 3
Ацетат	5,29
Магний	20,5
Натрий	34,4
Кальций	85
Калий	13,8
Аммоний	2,77

Содержание катионов и анионов значительно варьируется. Так, уровень содержания легкорастворимых солей (хлоридов) составил 32,7 мг/кг. Стоит отметить, что хлориды практически не накапливаются в донных отложениях. Концентрация сульфа-

тов, согласно результатам, составила 398 мг/кг. Что касается фторидов и фосфатов, то их уровни в исследованных образцах составили менее 1 мг/кг и менее 3 мг/кг, соответственно. А содержание натрия в образцах на уровне 34,4 мг/мг.

### Выводы

Зафиксированная по данным дистанционного зондирования Земли деградация водных систем и объектов подтверждает, что существующий искусственный гидрологический режим во время весеннего половодья на территории Волго-Ахтубинской поймы без проведения водоохраных мероприятий не обеспечивает эффективного обводнения.

В рамках мониторинга прохождения весеннего половодья подтвержден локальный положительный эффект от реализации природоохраных мероприятий, таких как расчистка (экологическая реабилитация) водных объектов, а также строительство (реконструкция) водопропускных сооружений. Установлено, что для эффективного заполнения водных объектов и территории озерной системы Чайка, необходимо на начальном этапе весеннего половодья перекрыть затвор (шандор) на водопропускном сооружении №113.

Для восстановления озера в северо-западной тупиковой части ерика Чайка необходимо проектирование и строительство регулируемого водопропускного сооружения с отметкой низа трубы –7,5 м БС, а также, с целью обеспечения проточности, устройство протоки от озера до водопропускного сооружения №151. Данное мероприятие позволит восстановить водный объект (озеро) на площади 10–12 га.

Проведенный химический анализ воды показал, что отобранные образцы практически по всем показателям соответствуют нормативной документации. Однако следует отметить, что по некоторым элементам, таким как стронций имеется превышение предельно-допустимых концентраций (оценка проводилась по требованиям норматива качества водных объектов рыбохозяйственного значения). По другим, таким как сульфаты, концентрация близка к предельно допустимой. В этой связи, необходимо выделить важность дальнейших мониторинговых исследований данного природного объекта.

Анализ донных отложений ерика Песчаный, направленный на выявление содержания тяжелых металлов и остаточное количество пестицидов, показал, что следует уделить повышенное внимание содержанию некоторых тяжелых металлов. Согласно критериям (оценку донных отложений осуществляли с использованием норм и критериев оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга), исследуемые донные отложения относятся к классу умеренно-загрязненных донных отложений, что так же говорит о необходимости повторных исследований и принятии мер по улучшению экологического состояния. При необходимой очистке и дополнительной обработке, донные отложения можно использовать как органическое удобрение в сельском хозяйстве.

Результаты данных исследований позволяют сказать, что имеющиеся ресурсы озерной системы (вода и донные отложения) возможно использовать в сельском хозяйстве. Предлагаемые авторами природоохраные мероприятия позволят предотвратить деградацию озерной системы Чайка.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания №FNFE-2022-0011 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия».

### Список литературы

Архипов Б. А. Технологические и природные особенности становления и развития первых цивилизаций // Вестник Челябинского государственного университета. — 2017. — Т. 4, № 400. — С. 33–38.

- Беляев А. И., Истомин А. П., Пугачева А. М. *и др.* Комплекс мер, направленных на сохранение уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — Сочи : Лик, 2021. — С. 30–35.
- Беляев А. И., Пугачёва А. М., Истомин А. П. *и др.* Изучение современного гидрологического режима озерной системы "Чайка" на территории Волго-Ахтубинской поймы // Экология и промышленность России. — 2023. — Т. 27, № 7. — С. 60–65. — DOI: [10.18412/1816-0395-2023-7-60-65](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-7-60-65).
- Болгов М. В., Шаталова К. Ю., Горелиц О. В. *и др.* Водно-экологические проблемы Волго-Ахтубинской поймы // Экосистемы: экология и динамика. — 2017. — 1(3). — С. 15–37.
- Ветчинников А. А., Титова В. И., Баранов А. И. *и др.* Оценка возможности использования донных отложений пруда для рекультивации техногенно нарушенных почв // Агрехимический вестник. — 2018. — № 2. — С. 50–53. — DOI: [10.24411/0235-2516-2018-00028](https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-00028).
- Горелиц О. В., Землянов И. В. Современный механизм заливания территорий Волго-Ахтубинской поймы в период половодья (в пределах Волгоградской области) // Научный потенциал регионов на службу модернизации. — 2013. — Т. 2, № 5. — С. 9–18.
- Ильинский А. В., Евсенкин К. Н., Нефедов А. В. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства // Агрехимический вестник. — 2020. — № 1. — С. 60–64. — DOI: [10.24411/1029-2551-2020-10009](https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10009).
- Истомин А. П., Болгов М. В., Жихарев А. Г. *и др.* Гидрологические проблемы Волго-Ахтубинской поймы на примере Краснослободского тракта // Мелиорация и водное хозяйство. — 2023. — № 3. — С. 3–10. — DOI: [10.32962/0235-2524-2023-3-3-10](https://doi.org/10.32962/0235-2524-2023-3-3-10).
- Истомин А. П., Истомин С. А. Мониторинг обводнения Волго-Ахтубинской поймы (Среднеахтубинский муниципальный район Волгоградской области). — Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621617, 2024.
- Катцов В. М., Семенов С. М. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — Москва : Росгидромет, 2014.
- Межевова А. С. Использование илового осадка сточных вод при возделывании сафлора красильного на светлокаштановых почвах Волгоградской области // Юг России: экология, развитие. — 2020. — Т. 15, № 3. — С. 43–52. — DOI: [10.18470/1992-1098-2020-3-43-52](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-43-52).
- Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив разработан в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1 «Извлечение и удаление загрязненных донных отложений в Санкт-Петербурге». — 1996.
- Порфирьев Б. Н., Данилов-Данильян В. И., Катцов В. М. *и др.* Изменение климата и экономика России: тенденции, сценарии, прогнозы. — Москва : Научный консультант, 2022.
- Сазонов В. Е., Истомин А. П., Калужная Н. С. *и др.* Методологические и правовые аспекты Восстановления и экологической реабилитации водных объектов (на примере Волго-Ахтубинской поймы) // Грани познания. — 2015. — Т. 4, № 38. — С. 9–19.
- Терещенко Н. Н., Чужикова-Проскурнина О. Д., Проскурнин В. Ю. *и др.* Тяжелые металлы и металлоиды в воде и донных отложениях в реках биосферного заповедника Канзё (Вьетнам) // Водные ресурсы. — 2023. — Т. 50, № 2. — С. 232–246. — DOI: [10.31857/S0321059623020153](https://doi.org/10.31857/S0321059623020153).
- Cenci R. M., Martin J.-M. Concentration and fate of trace metals in Mekong River Delta // Science of The Total Environment. — 2004. — Vol. 332, no. 1–3. — P. 167–182. — DOI: [10.1016/j.scitotenv.2004.01.018](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.018).
- Chen Y., Liu A., Cheng X. Quantifying economic impacts of climate change under nine future emission scenarios within CMIP6 // Science of The Total Environment. — 2020. — Vol. 703. — P. 134950. — DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.134950](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134950).
- He G., Liu H., Wang J., *et al.* Energy-water security challenge: Impact of energy production on water sustainable developments in Northwest China in 2017 and 2030 // Science of The Total Environment. — 2021. — Vol. 766. — P. 144606. — DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.144606](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144606).
- Kholodenko A. V., Istomin S. A., Kirillov S. N., *et al.* Changes in the spatial organization of the Volga-Akhtuba floodplain nature park // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2022. — Vol. 979, no. 1. — P. 012138. — DOI: [10.1088/1755-1315/979/1/012138](https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012138).
- Verheij S., Fokkens B., Buijse A. D. A pan-European survey to strengthen and improve policies and strategic planning regarding river continuity restoration. — European Centre for River Restoration, 2021.

- Zhao M., Jiang G., Ming G., *et al.* Analysis of the driving forces for changes in a regional energy sector's water consumption // *Water-Energy Nexus*. — 2020a. — Vol. 3. — P. 103–109. — DOI: [10.1016/j.wen.2020.05.001](https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.05.001).
- Zhao Z.-J., Chen X.-T., Liu C.-Y., *et al.* Global climate damage in 2 °C and 1.5 °C scenarios based on BCC\_SESM model in IAM framework // *Advances in Climate Change Research*. — 2020b. — Vol. 11, no. 3. — P. 261–272. — DOI: [10.1016/j.accre.2020.09.008](https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.09.008).
- Zheng X., Huang G., Li J., *et al.* Development of a factorial water policy simulation approach from production and consumption perspectives // *Water Research*. — 2021. — Vol. 193. — P. 116892. — DOI: [10.1016/j.watres.2021.116892](https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116892).

## FEATURES OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE CHAIKA LAKE SYSTEM, ASSESSMENT OF WATER QUALITY AND BOTTOM SEDIMENTS

A. P. Istomin<sup>1,\*</sup> , A. S. Mezheva<sup>1</sup> , S. A. Istomin<sup>1</sup> , and I. D. Khrenov<sup>1</sup><sup>1</sup>FRC of Agroecology of the RAS, Volgograd, Russia\*\*Correspondence to: Alexander P. Istomin, [istomin-ap@vfanc.ru](mailto:istomin-ap@vfanc.ru).

An assessment of the state of aquatic ecosystems in the northern (“high”) part of the Volga-Akhtuba floodplain was carried out (using the Peschany erikk of the Chaika lake system as an example). Based on the results of monitoring in 2021–2023, the current hydrological regime of the Chaika lake system was studied, recommendations were prepared to prevent the degradation of water bodies included in the system. The effectiveness of measures to clear floodplain reservoirs and build regulating culverts was recorded. Monitoring of the passage of spring floods in the Chaika lake system, located on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain, was carried out. A dependence was revealed between the direction of water movement through the reservoirs of the lake system depending on the discharge through the Volgograd hydroelectric power station and the water content of the reservoirs of the Kashirinsky and Krasnoslobodsky water conduits. Recommendations have been prepared for the management of regulating water-passing structures for the purpose of efficient irrigation of the Chaika lake system, taking into account the hydrological regime of the Krasnoslobodsk and Kashirinsky watercourses. Retrospective interpretation of Landsat-5, Landsat-7 and Sentinel-2 space images was conducted, as a result of which a degraded lake was identified and recommendations for its restoration were proposed. Comprehensive studies of water and bottom sediments were conducted, including for pollution by heavy metals and pesticides. It was revealed that the concentration of some studied elements exceeds the standard or is close to exceeding it. Recommendations are given for further monitoring of the state of water bodies of the Chaika lake system, as well as a possible option for using bottom sediments.

**Keywords:** national project “Ecology”, water quality, bottom sediments, chemical composition, Chaika lake system, environmental rehabilitation.

Received: 22 July 2024

Accepted: 5 November 2024

Published: 2 December 2024



© 2024. The Authors.

**Citation:** Istomin, A. P., A. S. Mezheva, S. A. Istomin, and I. D. Khrenov (2024), Features of the Hydrological Regime of the Chaika Lake System, Assessment of Water Quality and Bottom Sediments, *Russian Journal of Earth Sciences*, 24, ES5005, <https://doi.org/10.2205/2024ES000950>, EDN: FDPMRM

## References

- Arkhipov B. A. Technological and natural features of the formation and development of the first civilizations // Bulletin of the Chelyabinsk State University. — 2017. — Vol. 4, no. 400. — P. 33–38.
- Belyaev A. I., Istomin A. P., Pugacheva A. M., *et al.* A set of measures aimed at preserving the unique ecosystem of the Volga-Akhtuba floodplain in the Volgograd region // Transboundary water bodies: use, management, protection: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. — Sochi : Lik, 2021. — P. 30–35.
- Belyaev A. I., Pugacheva A. M., Istomin A. P., *et al.* Current Hydrological Conditions Research of the Chaika lake System in the Territory of the Volga-Akhtuba Floodland // Ecology and Industry of Russia. — 2023. — Vol. 27, no. 7. — P. 60–65. — DOI: [10.18412/1816-0395-2023-7-60-65](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-7-60-65).

- Bolgov M. V., Shatalova K. Y., Gorelits O. V., *et al.* Water-ecological problems of the Volga-Akhtuba floodplain // Ecosystems: ecology and dynamics. — 2017. — 1(3). — P. 15–37.
- Cenci R. M., Martin J.-M. Concentration and fate of trace metals in Mekong River Delta // Science of The Total Environment. — 2004. — Vol. 332, no. 1–3. — P. 167–182. — DOI: [10.1016/j.scitotenv.2004.01.018](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.018).
- Chen Y., Liu A., Cheng X. Quantifying economic impacts of climate change under nine future emission scenarios within CMIP6 // Science of The Total Environment. — 2020. — Vol. 703. — P. 134950. — DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.134950](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134950).
- Gorelits O. V., Zemlyanov I. V. Modern mechanism of flooding of the Volga-Akhtuba floodplain during flood periods (within the Volgograd region) // Scientific potential of regions for the service of modernization. — 2013. — Vol. 2, no. 5. — P. 9–18.
- He G., Liu H., Wang J., *et al.* Energy-water security challenge: Impact of energy production on water sustainable developments in Northwest China in 2017 and 2030 // Science of The Total Environment. — 2021. — Vol. 766. — P. 144606. — DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.144606](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144606).
- Ilyinsky A. V., Evsenkin K. N., Nefedov A. V. Justification for the environmentally safe use of wastewater sludge from sewerage treatment facilities of housing and communal services // Agrochemical Bulletin. — 2020. — No. 1. — P. 60–64. — DOI: [10.24411/1029-2551-2020-10009](https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10009).
- Istomin A. P., Istomin S. A. Monitoring of watering of the Volga-Akhtuba floodplain (Sredneakhtubinsky municipal district of the Volgograd region). — Certificate of state registration of the database No. 2024621617, 2024.
- Kattsov V. M., Semenov S. M. Second assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. — Moscow : Roshydromet, 2014.
- Kholodenko A. V., Istomin S. A., Kirillov S. N., *et al.* Changes in the spatial organization of the Volga-Akhtuba floodplain nature park // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2022. — Vol. 979, no. 1. — P. 012138. — DOI: [10.1088/1755-1315/979/1/012138](https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012138).
- Mezhevova A. S. Wastewater silt/sludge application in the case of *Carthamus tinctorius* cultivation on light chestnut soils of the Volgograd Region, Russia // South of Russia: ecology, development. — 2020. — Vol. 15, no. 3. — P. 43–52. — DOI: [10.18470/1992-1098-2020-3-43-52](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-43-52).
- Norms and criteria for assessing the pollution of bottom sediments in water bodies of St. Petersburg. The regional standard was developed within the framework of Russian-Dutch cooperation under the program PSO 95/RF/3/1 "Extraction and disposal of contaminated sediments in St. Petersburg". — 1996.
- P.Istomin A., Bolgov M. V., G.Zhikharev A., *et al.* Hydrological problems of the Volga-Akhtuba floodplain using the example of the Krasnoslobodsky tract // Melioration and water management. — 2023. — No. 3. — P. 3–10. — DOI: [10.32962/0235-2524-2023-3-3-10](https://doi.org/10.32962/0235-2524-2023-3-3-10).
- Porfiryev B. N., Danilov-Danilyan V. I., Kattsov V. M., *et al.* Climate change and the Russian economy: trends, scenarios, forecasts. — Moscow : Scientific Consultant, 2022.
- Sazonov V. E., Istomin A. P., Kalyuzhnaya N. S., *et al.* Methodological and legal aspects of restoration and ecological rehabilitation of water bodies (on the example of the Volga-Akhtuba floodplain) // Facets of knowledge. — 2015. — Vol. 4, no. 38. — P. 9–19.
- Tereshchenko N. N., Chuzhikova-Proskurnina O. D., Proskurnin V. Y., *et al.* Heavy Metals and Metalloids in Water and Bottom Sediments in the Rivers in the Can Gio Biospheric Reserve, Vietnam // Water Resources. — 2023. — Vol. 50, no. 2. — P. 232–246. — DOI: [10.31857/S0321059623020153](https://doi.org/10.31857/S0321059623020153).
- Verheij S., Fokkens B., Buijse A. D. A pan-European survey to strengthen and improve policies and strategic planning regarding river continuity restoration. — European Centre for River Restoration, 2021.
- Vetchinnikov A. A., Titova V. I., Baranov A. I., *et al.* Assessment of the possibility of using bottom sediments of a pond for the reclamation of technogenically disturbed soils // Agrochemical Bulletin. — 2018. — No. 2. — P. 50–53. — DOI: [10.24411/0235-2516-2018-00028](https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-00028).
- Zhao M., Jiang G., Ming G., *et al.* Analysis of the driving forces for changes in a regional energy sector's water consumption // Water-Energy Nexus. — 2020a. — Vol. 3. — P. 103–109. — DOI: [10.1016/j.wen.2020.05.001](https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.05.001).
- Zhao Z.-J., Chen X.-T., Liu C.-Y., *et al.* Global climate damage in 2 °C and 1.5 °C scenarios based on BCC\_SESM model in IAM framework // Advances in Climate Change Research. — 2020b. — Vol. 11, no. 3. — P. 261–272. — DOI: [10.1016/j.accre.2020.09.008](https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.09.008).
- Zheng X., Huang G., Li J., *et al.* Development of a factorial water policy simulation approach from production and consumption perspectives // Water Research. — 2021. — Vol. 193. — P. 116892. — DOI: [10.1016/j.watres.2021.116892](https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116892).