

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РЕАБИЛИТАЦИИ МАНЖЕРОКСКОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

Робертус Ю. В., Пузанов А. В., Кивацкая А. В., Любимов Р. В.

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF LAKE MANZHEROK REHABILITATION (ALTAI REPUBLIC)

Robertus Y. V., Puzanov A. V., Kivatskaya A. V., Lyubimov R. V.

Аннотация

Введение. Манжерокское озеро является единственным в Республике Алтай местообитанием «краснокнижного» эндемика водяного ореха гребенчатого. Во второй половине прошлого столетия его водосбор подвергся значительным антропогенным преобразованиям, в результате чего нарастала деградация озерной экосистемы. Для стабилизации состояния водоема в 2017–2018 годах проведена расчистка его центральной части от донных илов (сапропелей). **Методы.** В 2019–2020 годах в рамках мониторинга состояния акватории озера в шести пунктах на двух профилях проведено 11 туров опробования воды. Всего взято 72 пробы воды, в которых изучен химический состав и частично микробиологические показатели. На постоянной основе определялось содержание взвешенных веществ, мутность и окисляемость воды. **Результаты.** Установлена тенденция последовательного снижения содержания взвешенных частиц и значений других показателей экологического состояния воды. Подтвержден прогноз на 2020 г. по улучшению качества озерной воды. Раскрыты другие позитивные изменения экологического состояния акватории Манжерокского озера после его расчистки. **Заключение.** Установлены особенности самовосстановления озерной экосистемы после проведения реабилитационных мероприятий. Сделан прогноз о сохранении позитивных трендов восстановления качества воды в ближайшие 1–2 года. Показано, что проведенная расчистка озера от донных илов не в полной мере решила проблему его реабилитации.

Ключевые слова: Манжерокское озеро, донные илы, вода, загрязнение, расчистка, экологические последствия, восстановление.

Abstract

Introduction. Manzherok Lake is the only habitat of the Red Book endemic water chestnut (*Trapa pectinata*) in the Altai Republic. In the second half of the 20th century, its catchment area underwent significant anthropogenic transformations, increasing the degradation of the lake ecosystem. To stabilize the state of the reservoir, in 2017–2018, its central part was cleared of the bottom silt (sapropels). **Methods.** In 2019–2020, as part of monitoring the state of the lake's water area, 11 rounds of water testing were conducted at six points on two profiles. In total, we collected 72 water samples and studied their chemical composition and, partially, microbiological parameters. The suspended matter content, turbidity and oxidability of water were determined on an ongoing basis. **Results.** We identified a trend for a consistent decrease in the content of suspended particles and other indicators of the ecological state of water. The forecast for 2020 to improve the quality of lake water was confirmed. We also revealed other positive changes in the ecological state of Manzherok Lake after its clearing. **Conclusion.** We determined features of lake ecosystem self-restoration after rehabilitation and made a forecast regarding the preservation of positive trends in the restoration of water quality for the next 1–2 years. It is shown that the lake clearing of the bottom silt did not solve the problem of its rehabilitation to the full.

Keyword: Manzherok Lake, bottom silt, water, pollution, clearing, environmental consequences, rehabilitation.

Введение

Одним из популярных водных объектов Республики Алтай является Манжерокское озеро, расположенное в 30 км к югу от республиканского центра — г. Горно-Алтайска и в 1,5 км восточнее федеральной трассы Р-256 «Чуйский тракт». На юго-западном фланге озера находится с. Озерное, а в его южной части активно развивающийся всесезонный горнолыжный комплекс

«Манжерок» (рис. 1). С 1978 года озеро — памятник природы регионального значения (III категория МСОП) [11].

Озеро расположено на высокой надпойменной террасе р. Катунь и имеет форму эллипса, вытянутого в северо-восточном направлении на 1100 м при ширине до 430 м. Устойчивая площадь водного зеркала 337 га, средний объем воды 600–700 тыс. м³. Минимально допустимый

уровень воды в озере равен 375,2 м, а НПУ — 375,5 м.

Водоем мелководный, его глубина не превышает 3 м, 80 % береговой линии заболочено. Почти все дно озера покрывают высокодисперсные органоминеральные среднекремнистые илы (сапропели) мощностью 1,5–2,5 м с содержанием органического вещества 10–38 %. Они относятся к V классу «отходов», практически не опасных для окружающей среды.

Вода озера имеет низкую прозрачность (менее 50 см), специфический болотный запах, неприятный вкус, темный оттенок и тонкую взвесь донных илов. По гидрохимическому составу она относится к типу гидрокарбонатных кальциевых ультрапресных ($0,08 \text{ г/дм}^3$), мягких ($0,95\text{--}1,15 \text{ мг-экв/дм}^3$), нейтральных и слабо щелочных (рН 6,9–8,5) вод. В последние годы ее качество соответствует категории 3«Б», то есть классу очень загрязненных вод в основном из-за высокого содержания растворенного органического вещества.

Водосборный бассейн озера составляет 767 га. Его питание осуществляется временным поверхностным стоком с горы Синюхи, атмосферными осадками и грунтовыми водами. Водоем относится к слабопроточным с замедленным водообменом. На юго-западе из него вытекает руч. Озерный, впадающий в р. Едралу (приток р. Катунь). Среднегодовой поверхностный сток в озеро составляет 5,75 тыс. м³, а среднее испарение — 55 тыс. м³ в год.

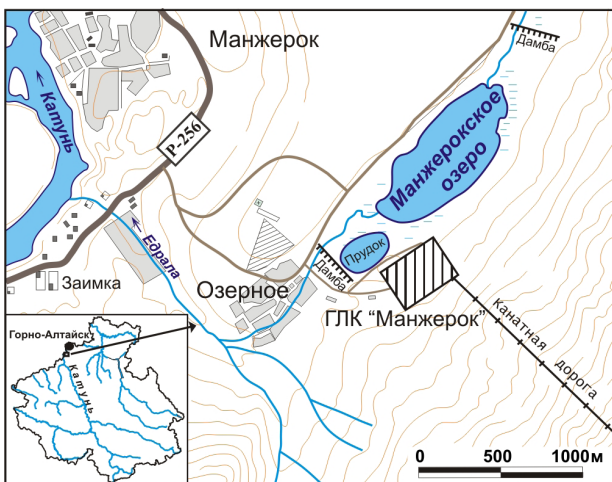


Рис. 1. Обзорная схема района памятника природы «Озеро Манжерокское»

Ранее проявленной особенностью водоема была группировка расселенных на его флангах водных растений — «краснокнижного» эндемика водяного ореха гребенчатого (*Trapa pectinata*), гидриллы мутовчатой и кувшинки чистобелой [9, 14, 18]. Установлено, что в настоящее время водяной орех не только не является ценообразователем, но и не образует вышеотмеченную группировку [17].

Состояние озера в последние десятилетия вызвало опасение и стало одной из актуальных экологических проблем региона [15, 16]. Его площадь сокращалась, наблюдалось заболачивание и зарастание берегов, усилился снос делювиально-пролювиального материала и образование донных илов, ухудшился кислородный режим воды. Современное экологическое состояние водоема во многом — прямое следствие прошлых антропогенных нарушений ландшафтов водосборного бассейна озера. Их последствия изменили гидролого-гидрогеологические условия водоема, что сказалось на его водно-седиментационном режиме и водной растительности.

Экологическая изученность озера и его района в целом достаточная. В разное время здесь было проведено изучение его климатических и гидрологических условий [5, 22], гидробиологии [8, 12], ихтиофауны [6], донных отложений [20] и др.

В 2007 г. ОАО «АлтайГИСИЗ» (г. Барнаул) было изучено распространение и мощность донных илов озера. С учетом этих данных Институтом водных и экологических проблем СО РАН были сформулированы экологические проблемы в районе озера [3, 21].

Основополагающий вывод ранее проведенных исследований состоит в том, что сохранение гидрологического режима Манжерокского озера приведет в долгосрочной перспективе к его полной деградации и превращению в заболоченную низину [1, 17].

Поскольку озеро и его водосборный бассейн подверглись заметному антропогенному воздействию, его реабилитация рассматривается не в плане возврата водоема в «дохозяйственный» период, а прежде всего как снижение биогенной нагрузки на озеро и прекращение поступления загрязняющих веществ [4].

Согласно классификации [7], Манжерокское озеро относится к группе мелководных озер со средней степенью антропогенной трансформации, для снижения негативных последствий которой рекомендуется проводить очистку водоемов от донных илов. При этом необходимо иметь в виду, что их полная очистка от накопленных донных отложений, являющихся важнейшим звеном экосистемы, вызывает резкие, порой необратимые изменения водного баланса, морфометрии, гидрохимического режима и жизни водной биоты.

Как показали исследования в Беларуси, частичное изъятие донных илов из эвтрофированных озер способствует улучшению состояния всей лимносистемы («омоложению» озера), если толщина удаленного слоя не превышает 2,5–3,0 м [7]. Этот научно обоснованный вывод по восстановлению малых озер, находящихся в поясе средних широт, был использован на первом этапе реабилитации Манжерокского озера. При этом лимитирующим фактором являлась необходимость сохранения ареалов произрастания водяного ореха.

Для санации отмеченных негативных процессов АО «Запсибгипроводхоз» (г. Новосибирск) в 2016 г. был разработан проект экологической реабилитации озера, предусматривающий очистку от донных илов его центральной части, свободной от водного ореха.

Исполнителем проекта АО «Сибгидромехстрой» (г. Новосибирск) в 2017-2018 гг. с использованием электрического земснаряда ЛС-27 на площади 15 га изъято и перемещено 217,3 тыс. м³ донных илов. Средняя глубина расчистки составила 1,34 м при максимальной 2,06 м. Для предотвращения инфильтрации на дне озера оставлен слой илов мощностью 10–20 см. Также проведена расчистка вытекающего из озера руч. Озерного и закрепление песком подводной части северо-западного берега озера на участке пляжной зоны.

Перемещенные по наплавному трубопроводу илы размещены в северо-восточной части озерной котловины на трех картах намыва общей площадью 10 га. Карты отделены от озера защитной дамбой, а от прилегающего склона горы Синюхи — нагорной канавой. Для сброса излишков воды из озера рядом с картами оборудована водосбросная канава (рис. 2).

Методы и материалы

Изучение экологических последствий реабилитации озера инициировало Минприроды Республики Алтай по причине резкого ухудшения качества озерной воды после расчистки, которая имела грязный вид из-за большого количества частиц ила. В результате проведенной в августе 2018 г. комплексной НИР было изучено качество озерной воды, оценен трофический статус озера

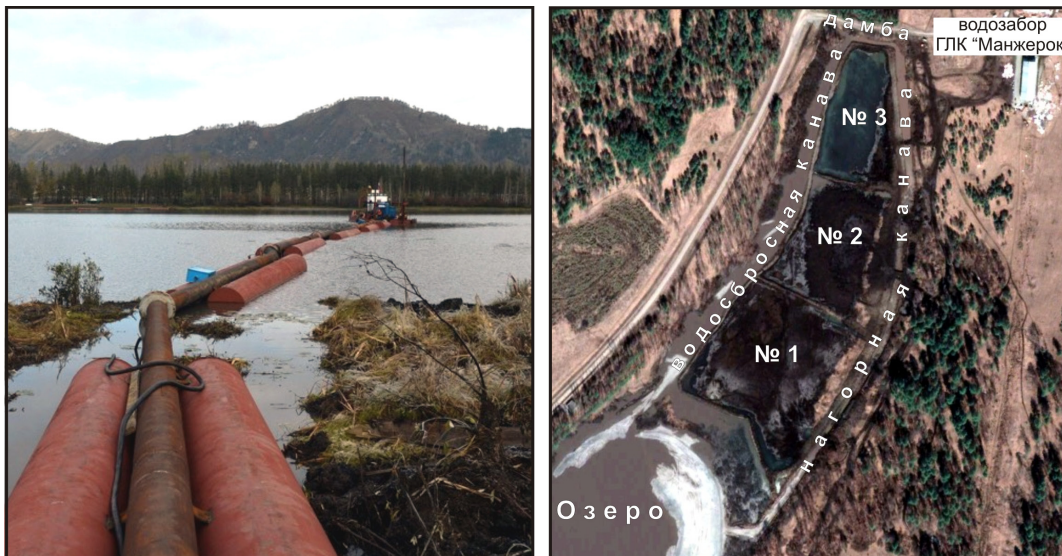


Рис. 2. Извлечение и транспортировка донных илов земснарядом (слева), карты намыва илов № 1–3 в северо-восточной части озерной котловины (справа)

и разработаны рекомендации по его улучшению. В частности, рекомендовалось ведение мониторинга озерной воды по гидрофизическим, гидрохимическим, гидробиологическим и санитарно-микробиологическим показателям [2].

В процессе его ведения в 2019-2020 гг. водные пробы отбирались в шести пунктах на двух профилях, ориентированных параллельно северо-западной береговой линии озера. Пункты 1, 2 находились в 50 м от пляжной зоны, остальные — на длинной оси озера, из них пункты 3, 4 — в контуре проведенной расчистки (рис. 3).

Всего в 2019-2020 гг. было проведено 11 туров обследования акватории озера и изучен химический состав и частично микробиологические показатели 72 проб озерной воды.

Химический анализ водных проб проведен по аттестованным методикам на базе Горно-Алтайского филиала ИВЭП. В пробах на постоянной основе определялось содержание взвешенных веществ и мутность (основные «рекреационные» показатели), перманганатная окисляемость воды.

Взвешенные вещества определяли гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:3.110–97), мутность — турбидиметрическим методом с фотокolorиметрическим окончанием на приборе КФК-2 (ПНД Ф 14.1:2:4.213–05), перманганатную окисляемость определяли обратным титрованием (ПНД Ф 14.1:2:4.154–99).

Результаты исследования и обсуждение

Исходными материалами для анализа состояния (качества) озерной воды и тенденций ее изменения стали результаты проведенных в 2015 г.

инженерно-экологических изысканий (до расчистки) и данные вышеотмеченной комплексной НИР 2018 г. После расчистки в воде отмечалось максимальное содержание взвешенных веществ (в основном частиц растительного детрита и глины) и значения показателей ее состояния (мутность, окисляемость и др.). В их распределении было отчетливо проявлено тяготение к площади изъятия донных илов (рис. 3), объясняемое взмучиванием воды при работе земснаряда.

Качество озерной воды в 2019 году также оставалось на неудовлетворительном уровне. Основная причина заключалась в высоком содержании взвешенных частиц в воде, обусловленном как ее взмучиванием при расчистке, так и наличием мощного слоя сапропеля на нерасчищенной площади озера, подверженной нагонным явлениям и размыву, что приводило к их поступлению в расчищенную часть акватории.

Несмотря на это обстоятельство, через год после расчистки наметилась ясно выраженная тенденция последовательного снижения содержания взвешенных частиц и значений других показателей экологического состояния (качества) озерной воды. Так, среднее содержание взвешенных веществ в воде с августа 2018 г. за год уменьшилось в 38,2 раза, показателя мутности — в 8,6 раза, а перманганатной окисляемости — в 10,2 раза.

Эта позитивная в экологическом плане тенденция имела продолжение и в 2020 году (табл. 1). Характерно, что в конце года значения основных контролируемых показателей озерной



Рис. 3. Характер распределения взвешенных веществ в воде Манжерокского озера в августе 2019 г. (слева) и в сентябре 2020 г. (справа)

воды, в частности, взвешенных веществ на участке расчистки были ниже, чем на сопредельной нерасчищенной площади акватории (рис. 3). Это обстоятельство указывает на донные отложения как источник постоянного загрязнения воды, а также на его снижение в результате их изъятия.

Исходя из полученных данных, можно считать, что для современного состояния (качества) озерной воды характерны следующие особенности [2, 17]:

- доминантой состояния воды являются примеси органических и минеральных веществ, обусловившие высокое содержание взвесей и мутность воды;

- состав примесей в воде является гетерогенным и представлен как преобладающими относительно крупными взвесями, так и коллоидно-растворенными в воде веществами;

- взвеси представлены частицами глины (минеральная составляющая), растительного детрита, фитопланктона и др. (органическая составляющая), а растворенные в воде вещества имеют существенно органическую природу;

- размер растворенных в воде частиц предположительно составляет десятые-сотые доли микрона, поскольку они проходят через мелкопористый фильтр «зеленая лента».

Полученные на начальном этапе исследования данные позволили предположить, что в среднесрочной перспективе (до 3-х лет) качество озерной воды восстановится до уровня 2015 г. (т. е. до начала расчистки). Следует подчеркнуть, что и в это время его состояние по ряду показателей также не отвечало требованиям СанПиН 2.1.5.980–00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

Для выявления закономерностей изменения показателей качества озерной воды выполнена аппроксимация их значений в 2018-2019 гг. (с шагом — полугодие). Установлено, что динамика (тренды) всех изученных показателей воды

описывается степенной функцией вида $y = kx^n$, где x — число полугодий (начиная со 2-го полугодия 2018 г.), а значения показателя степени n варьируются от $-2,6$ для содержания взвешенных веществ до $-1,35$ для окисляемости воды.

На основании установленных функций распределения этих параметров (рис. 4) были рассчитаны их прогнозные значения в разрезе полугодий 2020 г. Предполагалось, что расчетное содержание взвешенных частиц в озерной воде к концу 2020 г. снизится до 40 мг/дм^3 , показатель мутности — до 80 ЕМ/дм^3 , а величина окисляемости — до 15 мгО/дм^3 [17].

Фактическое среднее содержание взвешенных веществ в воде в 2020 г. составило 80 мг/дм^3 , однако в отдельные месяцы (февраль, октябрь) оно находилось на прогнозируемом уровне. Значения показателей мутности и окисляемости воды оказались даже ниже прогнозируемых на 11–15 % (рис. 4). Таким образом, можно считать, что прогноз на 2020 г. по улучшению качества воды Манжерокского озера в целом подтвердился.

Так, среднее содержание взвешенных веществ в воде с августа 2018 г. по октябрь 2020 г. уменьшилось в 70 раз, показатель ее мутности — в 30 раз, окисляемости — в 11 раз, что указывает на синхронизированный во времени характер изменения этих показателей воды, подтверждаемый их значимыми корреляционными связями.

Необходимо отметить, что данные второго полугодия 2020 г. указывают на замедление темпов улучшения качества озерной воды, главным образом на снижение содержания взвешенных веществ. Это свидетельствует о снижении потенциала самовосстановления (самоочищения) озерной экосистемы и ее возможного выхода в 2021 году на стабилизированный уровень, в целом соответствующий фоновым значениям 2015 г., то есть до проведения реабилитационных мероприятий (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения показателей воды Манжерокского озера в 2015–2020 гг.

Показатели	Дата обследования (месяц, год)								
	09.2015	08.2018	05.2019	08.2019	09.2019	10.2019	07.2020	09.2020	10.2020
Взвешенные вещества, г/дм ³	0,035	2,830	0,414	0,215	0,130	0,101	0,098	0,095	0,040
Мутность, ЕМ/дм ³	60	1683	531	180	163	125	71	64	55
Окисляемость (ПО), мгО/ дм ³	10,0	130	54,3	32,7	25,5	15,8	14,3	13,5	12,0

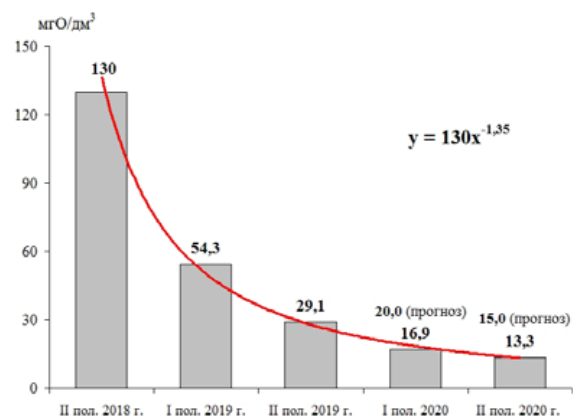
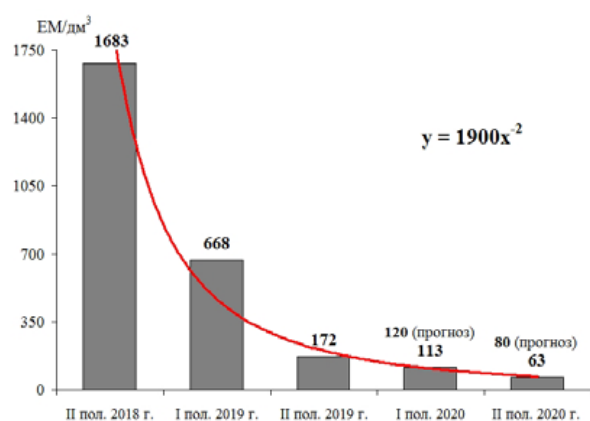
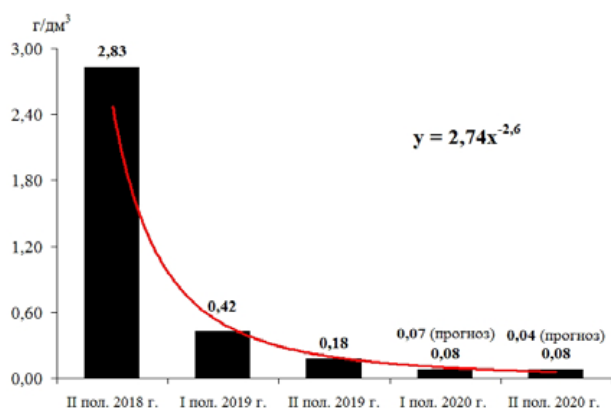


Рис. 4. Тренды изменения содержания взвешенных веществ (вверху), мутности (в центре) и окисляемости (внизу) озерной воды в 2018–2020 гг.

Так как акватория Манжерокского озера используется, главным образом, в рекреационных целях, основной негатив его современного состояния заключается в повышенной мутности воды. Изложенные в специальной литературе [10, 13, 19] подходы к ее снижению сводятся к механическим (фильтрация), химическим (адсорбция на различ-

ных материалах) и биологическим (использование водорослей, бактерий) методам очистки, из которых наиболее перспективны, на наш взгляд, последние подходы. Однако для выбора наиболее эффективных из этих методов необходимо проведение специальных исследований.

К числу позитивных последствий частичного изъятия донных илов относится заметное повышение уровня воды, благодаря чему в течение всего 2020 года наблюдался стабильно высокий уровень (376,2 м), практически не подверженный сезонным колебаниям. Вероятная причина этого нового явления заключается в активизации источников подземных вод (родников) на дне и в восточном борту озера, вскрывшихся после расчистки водоема.

Другим положительным моментом проведенной реабилитации является частичное восстановление проточности озера — одной из основных причин его деградации. Она восстановлена за счет сооружения водосбросных каналов (канал) на северо-восточном и юго-западном флангах озера. Таким образом, проточность носит искусственный характер, поскольку сток из озера полностью зарегулирован и осуществляется через водопропускные сооружения в северной и южной дамбах.

Заключение

Приведенные фактические данные позволяют сделать следующие выводы:

- экологическое состояние (качество) воды Манжерокского озера до проведения его расчистки от донных отложений находилось на малоудовлетворительном уровне;
- проведенная расчистка центральной части озера от донных илов (сапропелей) не в полной мере решила проблему его реабилитации, поскольку по набору методов и площади охвата являлась минимально возможным реабилитационным мероприятием, способствующим улучшению экологического статуса озера;
- основной причиной временного ухудшения экологического состояния озерной воды является проведенная в 2017-2018 гг. расчистка центральной части озера от донных илов;
- проведенная расчистка способствовала частичному восстановлению гидрологического режима озера, в том числе его проточности, которая носит зарегулированный характер;

- выявленные позитивные в экологическом отношении тренды изменения санитарно-химических и микробиологических показателей воды свидетельствуют о самовосстановлении озерной экосистемы после проведения реабилитационных мероприятий;

- за прошедшие после расчистки 2,5 года общая ситуация с качеством воды Манжерокского озера значительно улучшилась и в настоящее время близка к значениям 2015 г. (до ее проведения), то есть находится на малоблагоприятном (удовлетворительном) уровне;

- в настоящее время нет необходимости в проведении каких-либо дополнительных мероприятий по реабилитации озера, поскольку в ближайшие 1-2 года прогнозируется сохранение позитивных трендов самовосстановления его экосистемы.

Литература

1. Андреева, И. В. и Ротанова, И. Н. (2008). Озеро Манжерокское: прошлое, настоящее и будущее памятника природы. В: Долговых, С. В. (ред.) Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое и будущее. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, сс. 305–308.

2. Безматерных, Д. М., Кириллов, В. В., Балыкин, С. Н., Ковешников, М. И., Дьяченко, А. В. и Медникова, Г. М. (2020). Влияние дноуглубительных работ на морфометрические характеристики, показатели качества воды и донных отложений озера Манжерокское (Республика Алтай). Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, № 1, сс. 6–18. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-1-1.

3. Винокуров, Ю. И., Цимбалей, Ю. М., Ротанова, И. Н. и Андреева, И. В. (2007). Всесезонный горнолыжный спортивно-оздоровительный комплекс «Манжерок»: предварительная оценка воздействия на окружающую среду. В: Яськов, М. И. (ред.) Материалы II международной научно-практической конференции «Современные проблемы геоэкологии горных территорий». Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, сс. 175–181.

4. Власов, Б. П., Самойленко, В. М. и Грищенко, Н. Д. (2017). Антропогенные изменения экосистемы озера Болойсо и пути ее восстановления. Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология, № 1, сс. 14–25.

5. Галахов, В. П. (2008). Водный баланс озера Манжерок. Мир науки, культуры, образования, № 1 (8), сс. 26–29.

6. Голубцов, А. С. и Малков, Н. П. (2007). Очерк ихтиофауны Республики Алтай: систематическое разнообразие, распространение и охрана. М.: ТНИ КМК, 164 с.

7. Драбкова, В. Г., Прыткова, М. Я. и Якушко, О. Ф. (ред.) (1994). Восстановление экосистем малых озер. СПб.: Наука, 144 с.

8. Зарубина, Е. Ю. и Соколова, М. И. (2016). Трансформация структуры растительного покрова

Манжерокского озера (Республика Алтай) за 35-летний период. Вестник Томского государственного университета. Биология, № 4 (36), сс. 47–61. DOI: 10.17223/19988591/36/4.

9. Ильин, В. В. (1982). Флора и растительность Манжерокского озера (Алтай). Ботанический журнал, Т. 67, № 2, сс. 210–220.

10. Кривицкий, С. В. (2007). Гидроэкология: улучшение качества воды в водоеме. Экология и промышленность России, № 7, сс. 18–21.

11. Маринин, А. М., Мансеев, А. Г., Малков, Н. П. и Ушакова, В. Г. (2000). Красная книга Республики Алтай (особо охраняемые территории и объекты). Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 272 с.

12. Митрофанова, Е. Ю. (2009). Подледный фитопланктон мелководного Манжерокского озера (Горный Алтай, Россия). Мир науки, культуры, образования, № 5 (17), сс. 16–19.

13. Попов, А. Н. (2017). Выбор приоритетных действий, направленных на экологическую реабилитацию непроточных и малопроточных озер. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, № 5, сс. 68–89.

14. Правительство Республики Алтай (2007). Красная книга Республики Алтай (растения). 3-е издание. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 267 с.

15. Пузанов, А. В., Робертус, Ю. В., Любимов, Р. В., Кивацкая, А. В. и Павлова, К. С. (2015). Обзор экологических проблем на территории Республики Алтай. Проблемы региональной экологии, № 2, сс. 32–37.

16. Робертус, Ю. В. (ред.) (2020). Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2019 г. Горно-Алтайск: Правительство Республики Алтай, 120 с.

17. Робертус, Ю. В., Кивацкая, А. В., Любимов, Р. В. и Ситникова, В. А. (2019). Экологическое состояние акватории Манжерокского озера. Природные ресурсы Горного Алтая, № 1-2, сс. 85–89.

18. Селедцов, Н. Г. (1963). Айское, Манжерокское, Теньгинское озера. Известия АО ГО СССР, Вып. 2, сс. 54–73.

19. Хендерсон-Селлерс, Б. и Маркленд, Х. Р. (1990). Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 278 с.

20. Цимбалей, Ю. М. (2009). Манжерокское озеро в Горном Алтае: современное состояние и перспективы рекреационного освоения. Известия РГО, Т. 141, Вып. 3, сс. 56–62.

21. Цимбалей, Ю. М. (2014). О геотехнических мерах в восстановлении и охране Манжерокского озера. Известия АО РГО, Вып. 35, сс. 58–62.

22. Шитов, А. В., Минаев, А. И., Федоткина, Н. В., Сухова, М. Г., Журавлева, О. В., Модина, Т. Д., Собчак, Р. О., Папина, О. В., Кочеева, Н. А., Дмитриев, А. Н., Банникова, О. И., Климова, О. В., Мананкова, Т. И., Робертус, Ю. В., Кац, В. Е., Доставалова, М. С., Малков, Ю. П., Малков, П. Ю., Малкова, А. Н., Малков, Н. П., Машошина, И. А., Ильиных, И. А., Дивак, А. А., Северова, С. А., Веселовский, Е. Д., Аванесян, Р. А., Каранин, А. В. и Драчев, С. С. (2006). Природные комплексы Майминского района Республики Алтай. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 200 с.

References

1. Andreyeva, I. V. and Rotanova, I. N. (2008). Lake Manzherokskoye: past, present and future of a natural monument.

In: Dolgovykh, S. V. (ed.) *Biodiversity, environmental problems of Gorny Altai and neighboring regions: present, past and future*. Gorno-Altai: Editorial and Publishing Department of Gorno-Altai State University, pp. 305–308.

2. Bezmaternykh, D. M., Kirillov, V. V., Balykin, S. N., Koveshnikov, M. I., Dyachenko, A. V. and Mednikova, G. M. (2020). Channel dredging effect on morphometric features, indicators of water and bottom sediments quality of the lake Manzherokskoye (Altai Republic). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, No. 1, pp. 6–18. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-1-1.

3. Vinokurov, Yu. I., Tsybalev, Yu. M., Rotanova, I. N. and Andreyeva, I. V. (2007). Manzherok all-season ski sports and recreation complex: preliminary environmental impact assessment. In: Yaskov, M. I. (ed.) *Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference “Current Issues of Geocology in Mountain Territories”*. Gorno-Altai: Editorial and Publishing Department of Gorno-Altai State University, pp. 175–181.

4. Vlasov, B. P., Samoilenka, V. M. and Hryshchankava, N. D. (2017). Anthropogenic changes in the Boloys Lake ecosystem and ways of its restoration. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*, No. 1, pp. 14–25.

5. Galakhov, V. P. (2008). Water balance in Manzherok Lake. *The World of Science, Culture, and Education*, No. 1 (8), pp. 26–29.

6. Golubtsov, A. S. and Malkov, N. P. (2006). *Essay on the fish fauna of the Altai Republic: systematic diversity, distribution and conservation*. Moscow: KMK Scientific Press, 164 p.

7. Drabkova, V. G., Prytkova, M. Ya. and Yakushko, O. F. (ed.) (1994). *Restoration of small lake ecosystems*. Saint Petersburg: Nauka, 144 p.

8. Zarubina, E. Yu. and Sokolova, M. I. (2016). Transformation of the plant cover structure of Manzherokskoe Lake (West Altai) over 35 years. *Tomsk State University Journal of Biology*, No. 4 (36), pp. 47–61. DOI: 10.17223/19988591/36/4.

9. Ilyin, V. V. (1982). Flora and vegetation of the Manzherok Lake (Altai). *Botanicheskii Zhurnal*, Vol. 67, No. 2, pp. 210–220.

10. Krivitsky, S. V. (2007). Hydroecology: improving water quality in a reservoir. *Ecology and Industry of Russia*, No. 7, pp. 18–21.

11. Marinin, A. M., Maneyev, A. G., Malkov, N. P. and Ushakova, V. G. (2000). *Red book of the Republic Altai (specially protected territories and objects)*. Gorno-Altai, 272 p.

12. Mitrofanova, E. Yu. (2009). Under-the-ice phytoplankton of shallow lake Manzherokskoye, Gorny Altai, Russia. *The World of Science, Culture, and Education*, No. 5 (17), pp. 16–19.

13. Popov, A. N. (2017). The choice of priority actions aimed at ecological rehabilitation of standing and low-flowing lakes. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, No. 5, pp. 68–89.

14. Government of the Altai Republic (2017). *Red book of the Altai Republic (plants)*. 3rd edition. Gorno-Altai, 267 p.

15. Puzanov, A. V., Robertus, U. V., Lyubimov, R. V., Kivatskaya, A. V. and Pavlova, K. S. (2015). Overview of the environmental issues in the Altai Republic. *Regional Environmental Issues*, No. 2, pp. 32–37.

16. Robertus, Yu. V. (ed.) (2020). *Report on the state and protection of the environment in the Altai Republic in 2019*. Gorno-Altai: Government of the Altai Republic, 120 p.

17. Robertus, Yu. V., Kivatskaya, A. V., Lyubimov, R. V. and Sitnikova, V. A. (2019). Ecological state of the Manzherok Lake water area. *Natural Resources of Gorny Altai*, No. 1-2, pp. 85–89.

18. Seledtsov, N. G. (1963). Ayskoye, Manzherokskoye, Tenginskoye lakes. *News of the Altai Branch of the Geographical Society of the USSR*, Issue 2, pp. 54–73.

19. Henderson-Sellers, B. and Markland, H. R. (1990). *Decaying lakes. The origin and control of cultural eutrophication*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 278 p.

20. Tsimbaley, Yu. M. (2009). Manzherokskoye Lake Altai mountains: present-day conditions and perspectives of recreational use. *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva*, Vol. 141, Issue 3, pp. 56–62.

21. Tsimbalei, Yu. M. (2014). On geotechnical measures for restoration and protection of Lake Manzherok. *News of the Altai Branch of the Geographical Society of the USSR*, Issue 35, pp. 58–62.

22. Shitov, A. V., Minayev, A. I., Fedotkina, N. V., Sukhova, M. G., Zhuravlyova, O. V., Modina, T. D., Sobchak, R. O., Papina, O. V., Kocheyeva, N. A., Dmitriyev, A. N., Bannikova, O. I., Klimova, O. V., Manankova, T. I., Robertus, Yu. V., Kats, V. Ye., Dostavalova, M. S., Malkov, Yu. P., Makov, P. Yu., Malkova, A. N., Malkov, N. P., Mashoshina, I. A., Ilyinykh, I. A., Divak, A. A., Severova, S. A., Veselovsky, Ye. D., Avanesyan, R. A., Karanin, A. V. and Drachyov, S. S. (2006). *Natural complexes of the Mayminsky district of the Altai Republic*. Gorno-Altai: Editorial and Publishing Department of Gorno-Altai State University, 200 p.

Авторы

Робертус Юрий Владимирович, канд. геол.-минер. наук
Институт водных и экологических проблем Сибирского
отделения РАН, г. Барнаул, Россия
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru

Пузанов Александр Васильевич, д-р биол. наук,
профессор
Институт водных и экологических проблем Сибирского
отделения РАН, г. Барнаул, Россия
E-mail: puzanov@iwer.ru

Киватская Анна Васильевна, канд. геол.-минер. наук
Институт водных и экологических проблем Сибирского
отделения РАН, г. Барнаул, Россия
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru

Любимов Роман Владимирович, канд. геол.-минер.
наук
Институт водных и экологических проблем Сибирского
отделения РАН, г. Барнаул, Россия
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru

Authors

Yuriy Vladimirovich Robertus, PhD in Geology and
Mineralogy
Institute for Water and Environmental Problems, Siberian
branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru

Alexander Vasilyevich Puzanov, DSc in Biology, Professor
Institute for Water and Environmental Problems, Siberian
branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
E-mail: puzanov@iwep.ru

Anna Vasilyevna Kivatskaya, PhD in Geology and
Mineralogy

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian
branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru

Roman Vladimirovich Lubimov, PhD in Geology and
Mineralogy
Institute for Water and Environmental Problems, Siberian
branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru